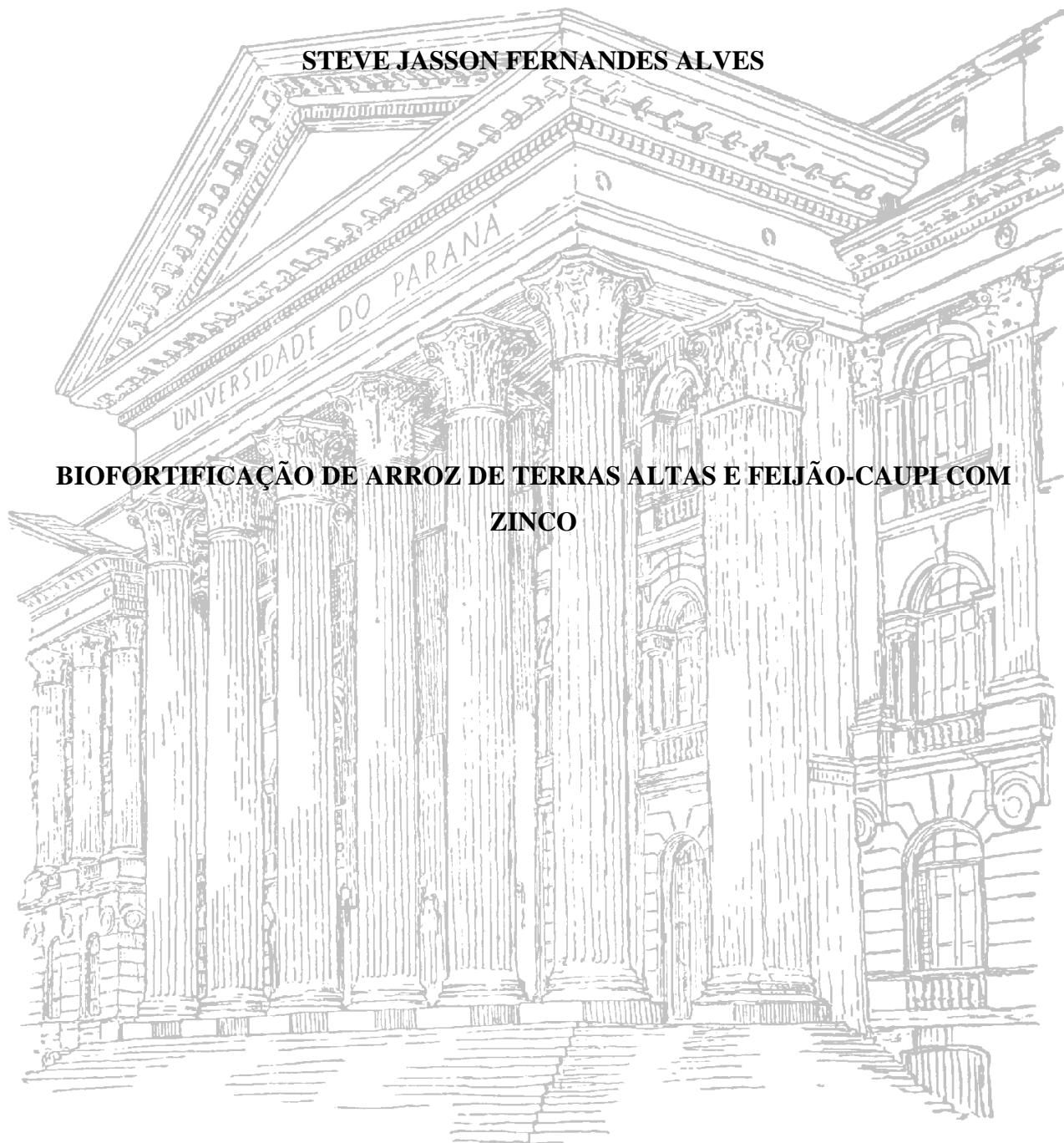


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

STEVE JASSON FERNANDES ALVES

**BIOFORTIFICAÇÃO DE ARROZ DE TERRAS ALTAS E FEIJÃO-CAUPI COM
ZINCO**



CURITIBA
2014

STEVE JASSON FERNANDES ALVES

**BIOFORTIFICAÇÃO DE ARROZ DE TERRAS ALTAS E FEIJÃO-CAUPI COM
ZINCO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração em Qualidade e Sustentabilidade Ambiental, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

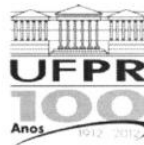
Orientador: Prof. Dr. Milton Ferreira Moraes
Co-Orientador: Prof. Dr. Volnei Pauletti
Co-orientador: Prof. Dr. Huberto José Klieman
Co-orientador: Dr. Pedro Luiz Scheren

CURITIBA

2014



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO
Mestrado e Doutorado



PARECER

A Banca Examinadora designada para avaliar a defesa da Dissertação de Mestrado de **STEVE JASSON F. ALVES**, intitulada: **Biofortificação agronômica de arroz de terras altas e feijão-caupi com zinco**, do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, após análise do texto e arguição do candidato, emitem parecer pela **“APROVAÇÃO”** da referida Dissertação. O candidato atende assim um dos requisitos para a obtenção do título de **Mestre em Ciência do Solo - Área de Concentração Solo e Ambiente**.

Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, em Curitiba, 22 de fevereiro de 2014.

Prof. Dr. Milton Ferreira de Moraes, Presidente

Prof. Dr. André Rodrigues dos Reis, Iº. Examinador

Prof. Dr. Volnei Pauletti, IIº. Examinador

Aos meus pais, Francisco Alves Ferreira e Sandra Aparecida Fernandes, ao meu irmão Michael Jonathan Fernandes Alves, a minha esposa Cristiane Daciuk pelo apoio atenção e compreensão e a todas as pessoas que amo pelo incentivo na minha caminhada.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela vida e por mais este motivo de felicidade.

Ao meu orientador, Professor Milton Ferreira de Moraes, pela amizade, orientação, ensinamentos, confiança, paciência e fundamental colaboração para o término desta dissertação.

À Universidade Federal do Paraná, pela oportunidade de realizar esta dissertação e à CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

E a todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para a conclusão do mesmo.

Muito Obrigado.

Se um dia tiver que escolher entre o mundo e o amor. Lembre-se. Se escolher o mundo ficará sem o amor, mas se escolher o amor com ele você conquistará o mundo.

Albert Einstein

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	8
LISTA DE TABELAS	9
RESUMO GERAL	12
GENERAL ABSTRACT.....	13
INTRODUÇÃO GERAL	14
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	18
1. CAPÍTULO I - ESTRATÉGIA DE ADUBAÇÃO PARA BIOFORTIFICAÇÃO AGRONÔMICA COM ZINCO EM ARROZ DE TERRAS ALTAS	23
1.1. RESUMO.....	23
1.2. ABSTRACT.....	24
1.3. INTRODUÇÃO	25
1.4. MATERIAL E MÉTODOS	26
1.4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL	26
1.4.2. INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO	28
1.4.3. TRATAMENTO E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	28
1.4.4. TRATOS CULTURAIS	29
1.4.5. VARIÁVEIS RESPOSTAS	29
1.4.5.1. PRODUTIVIDADE E MASSA DE 1000 GRÃOS.....	29
1.4.5.2. QUALIDADE NUTRICIONAL DO GRÃO.....	30
1.4.6. ANÁLISE ESTATÍSTICA	30
1.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
1.6. CONCLUSÕES.....	43
1.7. LITERATURA CITADA.....	44
2. CAPÍTULO II - ESTRATÉGIA DE ADUBAÇÃO PARA BIOFORTIFICAÇÃO AGRONÔMICA COM ZINCO EM FEIJÃO-CAUPI	47
2.1 RESUMO.....	47
2.2 ABSTRACT	48
2.3. INTRODUÇÃO	49
2.4. MATERIAL E MÉTODOS	50
2.4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL.....	50
2.4.2. INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO	52

2.4.3. TRATAMENTO E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	52
2.4.4. TRATOS CULTURAIS	53
2.4.5. VARIÁVEIS RESPOSTAS.....	54
2.4.5.1. PRODUTIVIDADE E MASSA DE 1000 GRÃOS.....	54
2.4.5.2. QUALIDADE NUTRICIONAL DO GRÃO	54
2.4.6. ANÁLISE ESTATÍSTICA	54
2.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	55
2.6. CONCLUSÕES.....	67
2.7. LITERATURA CITADA.....	68

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I - ESTRATÉGIA DE ADUBAÇÃO PARA BIOFORTIFICAÇÃO AGRONÔMICA COM ZINCO EM ARROZ DE TERRAS ALTAS

- FIGURA 1 Dados climatológicos de Palotina-PR (a) e Rio Verde-GO (b), no ano agrícola 2012/2013..... 10
- FIGURA 2 Influência do ambiente (Palotina e Rio Verde) e da forma de aplicação do Zn (Testemunha (Test), Zn aplicado no solo (Zn-S), Zn aplicado via foliar (Zn-F) e Zn aplicado no solo e via foliar (Zn-S+F)), no teor de Zn nos grãos e na produtividade de cultivares de arroz de terras altas..... 23
- FIGURA 3 PCA dos cultivares de arroz de terras altas: BRS Sertaneja (BRS) e ZEBU Ligeiro (ZEBU), cultivados em Palotina (a) e Rio Verde (b), safra 2012..... 24

CAPÍTULO 2- ESTRATÉGIA DE ADUBAÇÃO PARA BIOFORTIFICAÇÃO AGRONÔMICA COM ZINCO EM FEIJÃO-CAUPI

- FIGURA 1 Dados climatológicos de Palotina-PR (a) e Rio Verde-GO (b), no ano agrícola 2012/2013 34
- FIGURA 2 Influência do ambiente (Palotina e Rio Verde) e da forma de aplicação do Zn (Testemunha (Test), Zn aplicado no solo (Zn-S), Zn aplicado via foliar (Zn-F) e Zn aplicado no solo e via foliar (Zn-S+F)), no teor de Zn nos grãos e na produtividade de cultivares de feijão-caupi 47
- FIGURA 3 PCA dos cultivares de feijão-caupi: BRS Guariba (GUA) e BRS Xiquexique (XIQ), cultivados em Palotina (a) e Rio Verde (b), safra 2012 48

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I - ESTRATÉGIA DE ADUBAÇÃO PARA BIOFORTIFICAÇÃO AGRONÔMICA COM ZINCO EM ARROZ DE TERRAS ALTAS

TABELA 1-	Análise química e física do solo de Palotina e Rio Verde, safra 2012/2013. Análises realizadas antes do cultivo do arroz de terras altas.....	12
Tabela 2-	Resultados médios de macro e micronutrientes da análise foliar de cultivares de arroz de terras altas (BRS Sertaneja e ZEBU Ligeiro) sem (Controle) e com aplicação de zinco no solo (Zn-S), em distintos ambientes (Palotina e Rio Verde), safra de 2012.....	18
Tabela 2.1-	Resultados médios de macro e micronutrientes da análise de grãos de cultivares de Arroz (BRS Sertanejo e Zebu ligeiro) sem (Controle) e com aplicação de zinco no solo (Zn-S), em distintos ambientes (Palotina), safra de 2012.....	19
Tabela 2.1.1-	Resultados médios de macro e micronutrientes da análise de grãos de cultivares de Arroz (BRS Sertanejo e Zebu ligeiro) sem (Controle) e com aplicação de zinco no solo (Zn-S), em distintos ambientes (Rio Verde), safra de 2012.....	20
Tabela 3-	Influência dos métodos de aplicação de zinco na massa de 1000 grãos e produtividade de cultivares de arroz de terras altas (média de quatro repetições). Palotina e Rio Verde, safra 2012.....	21
Tabela 4-	Influência dos métodos de aplicação de zinco na concentração de Zn, Fe e proteína nos grãos de cultivares de arroz de terras altas (média de quatro repetições). Palotina e Rio Verde, safra 2012.....	22
Tabela 5-	Correlação de Pearson entre produtividade, concentração de Zn, concentração de Fe e proteína de duas cultivares de arroz de terras altas, cultivados em distintos ambientes.....	25

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2- ESTRATÉGIA DE ADUBAÇÃO PARA BIOFORTIFICAÇÃO AGRNÔMICA COM ZINCO EM FEIJÃO-CAUPI

TABELA 1-	Análise química e física do solo de Palotina e Rio Verde, safra 2012/2013. Análises realizadas antes do cultivo do feijão-caupi	36
Tabela 2-	Resultados médios de macro e micronutrientes da análise foliar de cultivares de arroz de terras altas (BRS Sertaneja e ZEBU Ligeiro) sem (Controle) e com aplicação de zinco no solo (Zn-S), em distintos ambientes (Palotina e Rio Verde), safra de 2012	42
Tabela 2.1-	Resultados médios de macro e micronutrientes da análise de grãos de cultivares de feijão-caupi (BRS Guariba e BRS Xiquexique) sem (Controle) e com aplicação de zinco no solo (Zn-S), em distintos ambientes (Palotina), safra de 2012	43
Tabela 2.1.1-	Resultados médios de macro e micronutrientes da análise de grãos de cultivares de Arroz (BRS Sertanejo e Zebu ligeiro) sem (Controle) e com aplicação de zinco no solo (Zn-S), em distintos ambientes (Rio Verde), safra de 2012.....	44
Tabela 3-	Tabela 3. Influência dos métodos de aplicação de zinco na massa de 1000 grãos e produtividade de cultivares de feijão-caupi (média de quatro repetições). Palotina e Rio Verde, safra 2012	45
Tabela 4-	Influência dos métodos de aplicação de zinco na concentração de Zn, Fe e proteína nos grãos de cultivares de feijão-caupi (média de quatro repetições). Palotina e Rio Verde, safra 2012	46
Tabela 5-	Correlação de Pearson entre produtividade, concentração de Zn, concentração de Fe e proteína de duas cultivares de feijão-caupi, cultivados em distintos ambientes.	49

BIOFORTIFICAÇÃO DE ARROZ DE TERRAS ALTAS E FEIJÃO-CAUPI COM ZINCO

Autor: Steve Jasson Fernandes Alves

Orientador: Prof. Dr. Milton Ferreira de Moraes

Co-Orientador: Prof. Dr. Volnei Pauletti

Co-orientador: Prof. Dr. Huberto José Klieman

Co-orientador: Eng. Agr. Pedro Luiz Scheren

RESUMO GERAL

As culturas de arroz (*Oryza sativa* L.), feijão-caupi (*Vigna Unguiculata* L. Walp.) estão entre os alimentos mais importantes na dieta da população. Com intuito de suprir essa demanda a introdução de cultivares biofortificados, que apresentam maiores conteúdos de minerais e vitaminas nos grãos tem ocorrido, em especial com o arroz e feijão, que é um dos cereais mais consumidos no mundo. O objetivo do presente estudo foi avaliar a relação entre as características de desempenho agrônomo de plantas de Feijão-caupi e Arroz de Terras Altas com os teores de Fe e Zn nos grãos. O estudo foi constituído de duas culturas sendo Arroz de terras altas e Feijão-caupi implantadas em duas regiões distintas, uma em Rio Verde-GO e a outra Palotina-PR. Os experimentos foram constituídos de quatro tratamentos: sem aplicação de Zn (controle); aplicação de Zn no solo (Zn-S); aplicação de Zn na folha (Zn-F) e aplicação de Zn no solo e na folha (Zn-S+F). Foram determinados componentes de rendimento como produtividade e massa de 1000 grãos, qualidade nutricional dos grãos e das folhas, concentração e acúmulo de Zn nos grãos. As duas culturas obtiveram comportamento semelhante, os teores de Zn (folha) foram afetados pela adubação com Zn no solo, e os teores nos grãos foram afetados quando houve a conciliação do tratamento via solo com o tratamento foliar. A produtividade não foi afetada pelo fator (genótipo vs ambiente), já o maior acúmulo ocorreu no município de Palotina devido balanço entre produtividade e concentração. Conclui-se que o ambiente foi importante para explicitar as características inerentes de cada genótipo, sendo que nas condições do presente trabalho se torna mais viável utilizar uma cultivar comercial com alta produção e aplicar zinco, elevando o acúmulo do mesmo nos grãos. À baixa produtividade das cultivares com propensão a biofortificação, se faz necessário estudos voltados ao aumento de produtividade nos programas de melhoramento para biofortificação.

Palavras-chave: Biofortificação, saúde humana, arroz terras altas, feijão-caupi.

BIOFORTIFICATION UPLAND RICE AND BEANS WITH ZINC COWPEA

Author: Steve Jasson Fernandes Alves

Advisor: Prof. Dr. Milton Ferreira de Moraes

Co-Advisor: Prof. Dr. Volnei Pauletti

Co-Advisor Prof. Dr. Hubert Joseph Kliemans

Co-Advisor: Agr. Pedro Luiz Scheren

GENERAL ABSTRACT

Cultures of rice (*Oryza sativa* L.), Cowpea (*Vigna Unguiculata* L. Walp.) are among the most important food in the diet of the population. In order to meet this demand the introduction of biofortified cultivars, which have higher contents of minerals and vitamins in grains has taken place, in particular with the rice and beans, which is one of the most consumed cereal in the world. The objective of the present study was to evaluate the relationship between the characteristics of agronomic performance of Cowpea and rice of Highlands with the levels of Fe and Zn in grains. The study was made up of two cultures being Highlands's rice and Cowpea deployed in two distinct regions, one in Green River and the other Palotina. The experiments were made up of four treatments: without application of Zn (control); application of Zn in the soil (Zn-S); application of Zn on the sheet (Zn-F) and application of Zn in soil and leaf (Zn-S + F). Yield components were determined as productivity and 1000 grain mass, nutritional quality of grain and leaves, concentration and accumulation of Zn in grains. The two cultures had similar behavior, the levels of Zn (leaf) were affected by the fertilization with Zn in the soil, and the levels in grains were affected when the reconciliation of treatment via soil with the foliar treatment. The productivity was not affected by the factor (vs genotype environment), already the greatest accumulation occurred in the municipality of Palotina due balance between productivity and concentration. The environment was important to clarify the characteristics of genotype, and under the conditions laid down in this work becomes more feasible to use a commercial cultivar with high production and apply zinc, bringing the same buildup in grain. the low productivity of cultivars with propensity to biofortification, necessary studies aimed at increase of productivity in breeding programs for biofortificação.

Keywords: Biofortification, human health, rice, Cowpea Highlands.

INTRODUÇÃO GERAL

As culturas de arroz (*Oryza sativa* L.), feijão-caupi (*Vigna Unguiculata* L. Walp.) estão entre os alimentos mais importantes na dieta da população, sendo reconhecidas pelo alto valor nutricional de seus produtos.

O arroz (*Oryza sativa* L.) pertence à família Poaceae, é o principal cereal produzido no mundo, com uma produção de aproximadamente 696 milhões de toneladas, sendo cultivado em 159 milhões de ha e com produtividade média mundial de 4.368 kg ha⁻¹ (FAO, 2012).

O feijão caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.), é um alimento básico para as populações de baixa renda do Nordeste brasileiro, com produção de 3,6 milhões de toneladas SILVA (2009) sendo cultivado em 12,5 milhões de ha (ANDRADE JÚNIOR et al., 2003) e com produtividade média de 366 kg/ha (SILVA, 2009).

Segundo Godfray et al. (2010), o crescimento da população será contínuo e a demanda global por alimentos vai aumentar em um período de 40 anos. É necessária uma estratégia global para garantir a segurança alimentar sustentável dos diferentes componentes. Desta forma, a demanda global por alimentos também continuará a crescer e conforme tem sido estimado, no período de 1990-2030 haverá necessidade de duplicar a produção agrícola mundial, com aumento de duas vezes e meia a três nos países em desenvolvimento (Graham et al., 2001). Considerando a importância desses produtos agrícolas (alimentos) como fonte primária de nutrientes, percebe-se que com o aumento da população, quantidades maiores de nutrientes serão requeridas.

Ainda que a produção de alimentos tenha acompanhado o crescimento populacional, a nutrição de plantas e a saúde humana são estudadas isoladamente, com quase ou nenhuma interação entre os pesquisadores dessas áreas (Moraes, 2008). Entretanto, há falta de pesquisas no Brasil que integram desde o melhoramento vegetal e o manejo da adubação até o aproveitamento dos nutrientes pelo organismo humano, como já ocorrem em vários países (Welch & Gabelman, 1984; Mortvedt et al., 1991; Singh et al., 2001; Kabata-Pendias e Mukherjee, 2007; Alloway, 2008).

Ao longo das últimas décadas, a concentração e a composição de nutrientes, particularmente os micronutrientes, tem sido largamente ignorado pelos pesquisadores no qual o principal objetivo desses programas é o aumento do rendimento nos grãos das culturas alimentares (Welch & Graham, 1999; Cakmak, 2002).

Diversos fatores relacionados ao ambiente e à adaptação das espécies vegetais podem influenciar na capacidade das plantas em absorver e translocar minerais como Fe e Zn para os grãos (Welch & House, 1984). É possível selecionar cultivares para maiores teores de minerais nos grãos, boas qualidades tecnológicas e também para altos rendimentos, onde parece haver relação direta entre teores de proteínas e Fe e Zn em grãos de trigo, visto que esses dois micronutrientes são requeridos para o funcionamento e síntese de muitas proteínas (Moraes, 2009; Cakmak, 2008). Desta forma a seleção para aumentar Zn levará ao aumento de Fe.

O ser humano requer pelo menos 49 nutrientes para satisfazer suas necessidades metabólicas, porém a deficiência ou o consumo inadequado de um desses elementos pode gerar distúrbios fisiológicos que levam a doenças, aumento das taxas de mortalidade, baixo rendimento produtivo, retardo mental, crescimento inadequado, entre outros (Oikeh *et al.*, 2003; Long *et al.*, 2004; Welch & Graham, 2004).

Em meio a esses elementos minerais, destacam-se iodo (I), ferro (Fe), zinco (Zn) e selênio (Se), sendo que nos países em desenvolvimento estes elementos são os que causam maior preocupação em relação à saúde humana. Calcula-se que um quinto da população pode não estar ingerindo este nutriente em quantidades suficientes (Hotz & Brown, 2004), e que um terço da população mundial vive em países considerados de alto risco em relação à deficiência de Zn.

O zinco é essencial para atividade de mais de 300 enzimas, envolvendo-se em processos mitóticos, síntese de DNA e proteínas, expressão e ativação gênica, o que enfatiza sua importância durante os períodos de gestação (Caulfield *et al.*, 1998; Osendarp *et al.*, 2003). Sua deficiência está diretamente relacionada à entrada e/ou absorção inadequadas de zinco e à presença de inibidores na dieta, embora as perdas adicionais por diarreia possam também contribuir. Por estas razões, as exigências em zinco são maiores naquelas populações em que os produtos de origem animal – fontes de zinco de maior biodisponibilidade – são limitados e as fontes vegetais contêm elevadas concentrações de fitato, inibidor da absorção de zinco (Lönnerdal, 2000).

A deficiência do zinco tem sido associada não só à redução do crescimento e ao desenvolvimento do feto, mas também a problemas no desenvolvimento do sistema imunológico, à perda de apetite, às lesões na pele, ao prejuízo na acuidade do paladar, às dificuldades nos processos de cicatrização, ao hipogonadismo, retardo na maturação sexual, à anorexia, morbidade e mortalidade por doenças infecciosas (Whittaker, 1998).

As principais estratégias que auxiliam o combate às deficiências nutricionais nos países em desenvolvimento são a diversificação da dieta alimentar, e a suplementação de vitaminas e minerais para mulheres grávidas e crianças pequenas, além da fortificação dos alimentos com esses nutrientes por meio de tecnologias pós-colheita. Porém, todos esses processos dependem de infraestruturas de mercado e sistemas de saúde altamente funcionais que permitam o acesso das populações aos produtos gerados (Who/UNICEF, 2004).

Baseando-se nestas informações, uma crescente atenção tem sido dada na procura e identificação dos ancestrais selvagens de plantas cultivadas, em busca de alelos valiosos que foram desconsiderados, com intuito de re-apresentá-los em culturas cultivadas (Gur & Zamir, 2004). Nesse sentido, diversas pesquisas visando explorar genes associados ao acúmulo de nutrientes, por meio da biotecnologia e melhoramento convencional de plantas, têm sido realizadas, e apresentam ser um caminho promissor para melhorar a qualidade dos alimentos vegetais. Sendo este o foco dos programas de biofortificação (Graham, 2003).

A biofortificação de alimentos é um processo que, por meio de cruzamento de plantas da mesma espécie, gera espécies com teores maiores de determinados nutrientes nas partes comestíveis das culturas, fornecendo uma solução sustentável para a desnutrição no mundo (Jeong & Guerinot, 2008).

Variedades biofortificadas apresentam o potencial de fornecer benefícios contínuos, ano após ano, nos países em desenvolvimento, a um custo recorrente inferior ao da suplementação e da fortificação pós-colheita (Graham & Welch, 1996; Welch, 2001; HarvestPlus, 2004; Graham et al., 2007). Assim, a biofortificação complementa outras intervenções e é um meio para fornecer micronutrientes, vitaminas e proteínas para as pessoas mais vulneráveis, de forma relativamente barata e usando uma intervenção agrícola que seja sustentável (Bouis, 1999; Nestel et al., 2006; Pfeiffer & McClafferty, 2007; Qaim et al., 2007). Nesse contexto, várias estratégias e/ou intervenções para a biofortificação de culturas tem surgido, incluindo adubação mineral, melhoramento convencional e abordagens de transgênicos (Zhu et al., 2007; Mayer et al., 2008).

Biofortificação agrônômica é a utilização de fertilizantes, objetivando aumentar os teores de micronutrientes na parte comestível dos produtos agrícolas, podendo ser realizada por meio da adubação via solo, pelo tratamento de sementes ou pela aplicação foliar (Welch, 2008). Outras práticas de manejo podem ser adotadas visando aumentar o teor de minerais nos produtos agrícolas como a aplicação de biofertilizantes (inoculação com fungos micorrízicos, tricotermas, etc), rotação de culturas e irrigação (Moraes et al., 2009). A

aplicação de fertilizantes minerais, combinado com variedades em produção, é defendida como uma estratégia de imediato não só para aumentar as concentrações de minerais em culturas comestíveis, mas também para melhorar o rendimento em solos inférteis (Graham et al., 2001, 2007; Bouis et al., 2003; Genc et al., 2005; White & Broadley, 2005; Pfeiffer & McClafferty, 2007).

Pesquisas realizadas no Brasil com adubação de Zn no solo, demonstraram aumentos dos teores do mesmo nos grãos de arroz de terras altas entre 50-80% em comparação com o controle, cujo o foco era avaliar os benefícios da biofortificação agrônômica. O incremento nos teores de Zn nos grãos se traduziu em leve aumento nos teores de Fe (Moraes et al., 2009).

Em contra partida, alguns trabalhos tem mostrado relação inversa entre produtividade e concentrações de micronutrientes nos grãos (McDonald et al., 2008; Murphy et al., 2008). Segundo White & Broadley (2005), variedades melhoradas com o propósito de aumentar as concentrações de nutrientes nas partes comestíveis poderia ser uma consequência do crescimento mais lento da planta, reduzida produtividade, baixo índice de colheita ou sementes menores. Outros pesquisadores com recentes trabalhos sustentam a hipótese de uma diluição de micronutrientes em cultivares melhorado com o propósito de maiores rendimento ao longo do tempo (Garvin et al., 2006; Fan et al., 2008).

Estudos demonstrando a positiva relação entre Zn, Fe e proteínas nos grãos, estimularam novos trabalhos, no qual, relataram que dependendo do método de aplicação de fertilizantes com Zn, podem aumentar a concentração do mesmo nos grãos em até três ou quatro vezes. O método mais eficaz para aumentar Zn nos grãos foi o método de aplicação no solo conciliado a aplicação foliar, que resultou em aumento de cerca de 3,5 vezes da concentração de Zn nos grãos (Yilmaz et al., 1997; Cakmak et al., 2010). Da mesma forma, aplicações no solo conciliado a aplicações foliares de fertilizantes de Zn aumentaram as concentrações do mesmo em frutas (Shuman, 1998; Rengel et al., 1999; Broadley et al., 2007). O ambiente também influencia os teores de nutriente nos grãos, que de acordo com Peleg et al. (2008), ocorre significativa interação (genótipo vs Ambiente), para todas as concentrações de minerais nos grãos.

Apartir de tais informações supracitadas este estudo teve como objetivo correlacionar a biofortificação e os aspectos agrônômicos das cultivares de arroz de terras altas, feijão-caupi em razão das estratégias de adubação com Zn, em dois ambientes de cultivo em um ano agrícola.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLOWAY, B. J. Micronutrient deficiencies in global crop production. New York: Springer, 2008. 353 p.
- ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; SANTOS, A. A. dos; SOBRINHOS, C. A.; BASTOS, E. A.; MELO, F. de B.; VIANA, F. M. P; FREIRE FILHO, F. R.; CARNEIRO, J. da S.; ROCHA, M. de M.; CARDOSO, M. J.; SILVA, P. H. S. da; RIBEIRO, V. Q. Cultivo de feijão-caupi: importância econômica. Parnaíba: Embrapa Meio-Norte, 2003 Versão eletrônica. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Feijao/FeijaoCaupi/importancia.htm>>. Acesso em: 3 dez. 2013.
- BOUIS, H. E. Economics of enhanced micronutrient density in food staples. Field Crops Research, v.66, n.1-2, p.165-173, 1999.
- BROADLEY, M. R.; WHITE, P. J.; HAMMOND, J. P.; ZELKO, I.; LUX, A. Zinc in plants. New Phytologist, 173: 677-702, 2007.
- CAKMAK, I. Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification? Plant and Soil, v.302, n.1-2, p.1-17, 2008.
- CAKMAK, I. Plant nutrition research: priorities to meet human needs for food in sustainable ways. Plant Soil, 247: 3-24, 2002.
- CAULFIELD, L. E.; ZAVALITA, N.; SHANKAR, A. H & MERIALDI, M. Potential contribution of maternal zinc supplementation during pregnancy to maternal and child survival. American Journal of Clinical Nutrition, v- 68, p.449S-508S, 1998
- FAN, M. S.; ZHAO, F. J.; FAIRWEATHER-TAIT, S. J.; POULTON, P. R.; DUNHAM, S. J.; MCGRATH, S. P. Evidence of decreasing mineral density in wheat grain over the last 160 years. Journal of Trace Elements in Medicine and Biology, 22: 315-324, 2008.
- FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. FAOSTAT. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor>>. Acesso em: 25 ago. 2012.

GARVIN, D.F.; WELCH, R.M. & FINLEY, J.W. Historical shifts in the seed mineral micronutrient concentrations of US hard red winter wheat germplasm. *J. Sci. Food Agric.*, 86(13):2213-2220, 2006.

GENC, Y.; HUMPHRIES, J. M.; LYONS, G. H.; GRAHAM, R. D. Exploiting genotypic variation in plant nutrient accumulation to alleviate micronutrient deficiency in populations. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 18: 319-324, 2005.

GODFRAY, H. C. J, BEDDINGTON, J. R, CRUTE, I. R, HADDAD L, LAWRENCE D, MUIR, J. F, PRETTY J, ROBINSON S, THOMAS, S. M, TOULMIN C. Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *Science* 2010;327:812-818.

GRAHAM, R. D. Biofortification: a global challenge program. *International Rice Research Notes* 28: 4-8, 2003.

GRAHAM, R. D.; WELCH, R. M. Breeding for staple-food crops with high micronutrient density: long-term sustainable agricultural solutions to hidden hunger in developing countries. In: *Proceedings of the Agricultural Strategies for Micronutrients*, Washington, IFPRI, 1996. 73p.

GRAHAM, R. D.; WELCH, R. M.; BOUIS, H. E. Addressing micronutrient malnutrition through enhancing the nutritional quality of staple foods: principles, perspectives and knowledge gaps. *Advances in Agronomy*, 70: 77-142, 2001.

GRAHAM, R. D.; WELCH, R. M.; SAUNDERS, D. A.; ORTIZ-MONASTERIO, I.; BOUIS, H. E.; BONIERBALE, M.; HAAN, S.; BURGOS, G.; THIELE, G.; LIRIA, R.; MEISNER, C. A.; BEEBE, S. E.; POTTS, M. J.; KADIAN, M.; HOBBS, P. R.; GUPTA, R. K.; TWOMLOW, S. Nutritious subsistence food systems. *Advances in Agronomy*, 92: 1-74, 2007.

GUR, A.; ZAMIR, D. Unused natural variation can lift yieldbarriers in plant breeding. *Plos. Biol.*, 2: 1610-1615, 2004.

HARVESTPLUS. Desenvolvendo Produtos Agrícolas mais Nutritivos. Washington: HarvestPlus, 2004. 4p

HOTZ, C.; BROWN, K. H. Assessment of the risk of zinc deficiency in populations. Food and Nutrition Bulletin, 25(1): 130-162, 2004.

JEONG, J.; GUERINOT, M. L. Biofortified and bioavailable: The gold standard for plant-based diets, PNAS, 6: 1777-1778, 2008.

KABATA-PENDIAS, A.; MUKHERJEE, A. B. Trace elements from soil to human. Berlin: Springer, 2007. 576 p.

LONG JK, BANZIGER M & SMITH ME. Diallel analysis of grain iron and zinc density in southern African-adapted maize inbreds. Crop Science, v.44, p.2019-2026, 2004.

LÖNNERDAL B .Dietary factors influencing zinc absorption.Journal of Nutrition, v.130, p.1378-1383S, 2000.

MAYER, J. E.; PFEIFFER, W. H.; BEYER, P. Biofortified crops to alleviate micronutrient malnutrition, Curr. Opin. Plant Biol., 11: 166-170, 2008.

MCDONALD, G. K.; GENC, Y.; GRAHAM, R. D. A simple method to evaluate genetic variation in grain zinc concentration by correcting for differences in grain yield. Plant Soil, 306: 49-55, 2008.

MORAES, M.F. Relação entre nutrição de plantas, qualidade de produtos agrícolas e saúde humana. Informações agronômicas, nº 123, p. 21-23, 2008.

MORAES, M.F.; NUTTI, M.R.; WATANABE, E.; CARVALHO, J.L.V. Práticas agronômicas para aumentar o fornecimento de nutrientes e vitaminas nos produtos agrícolas alimentares. In: LANA, R.P.; MÂNCIO, A.B.; GUIMARÃES, G.; SOUZA, M.R.M. (Ed.). I Simpósio Brasileiro de Agropecuária Sustentável. Viçosa: Editora da UFV, 2009. p.299-312.

MORTVEDT, J. J.; COX, F. R.; SHUMAN, L. M.; WELCH, R. M. (Ed.). Micronutrients in agriculture. Madison: Soil Science Society of America, 1991. 760p.

MURPHY, K. M.; REEVES, P. G.; JONES, S. S. Relationship between yield and mineral nutrient concentrations in historical and modern spring wheat cultivars. Euphytica, 163: 381-390, 2008.

NESTEL, P.; BOUIS, H. E.; MEENAKSHI, J. V.; PFEIFFER, W. Biofortification of staple food crops. J. Nutr., 136: 1064-1067, 2006.

- OIKEH, S.O.; MENKIR, A.; MAZIYA-DIXON, B.; WELCH R & GLAHN R. P. Assessment of concentrations of iron and zinc and bioavailable iron in grains of early-maturing tropical maize varieties. *Journal of Agricultural Food and Chemistry*, 51:3688-3694, 2003.
- OSENDARP, S. J. M, WEST C. E & BLACK R. E. The need for maternal zinc supplementation in developing countries: an unresolved issue. *Journal of Nutrition*, v-133, p.817S-827S, 2003.
- PELEG, Z.; SARANGA, Y.; KRUGMAN, T.; ABBO, S.; NEVO, E.; FAHIMA, T. Allelic diversity associated with aridity gradient in wild emmer wheat populations. *Plant Cell Environ* DOI 10.1111/j.1365-3040.2007.01731.x, 2007.
- PFEIFFER, W. H.; MCCLAFFERTY, B. HarvestPlus: breeding crops for better nutrition. *Crop Science*, 47: 88-105, 2007.
- QAIM, M.; STEIN, A. J.; MEENAKSHI, J. V. Economics of biofortification. *Agric. Econ.*, 37: 119-133, 2007.
- RENGEL, Z.; BATTEN, G. D.; CROWLEY, D. E. Agronomic approaches for improving the micronutrient density in edible portions of field crops. *Field Crops Research*, 60: 27-40, 1999.
- SHUMAN, L. M. Micronutrient fertilizers. *Journal of Crop Production*, 1: 165-195, 1998.
- SILVA, K. J, D. e. Estatística da produção de feijão-caupi. Pelotas: Grupo Cultivar, 2009. Disponível em: <<http://www.grupocultivar.com.br/site/content/artigos/artigos.php?id=880>>. Acesso em: 3 dez. 2013.
- SINGH, K.; MORI, S.; WELCH, R. M. (Ed.). Perspectives on the micronutrient nutrition of crops. Jodhpur: Scientific Publishers, 2001. 295 p.
- WELCH R.M & GRAHAM R.D. Breeding for micronutrients in staple food crops form a human nutrition perspective. *Journal of Experimental Botany*, v-55, p.353-364, 2004.
- WELCH, R. M. Linkages between trace elements in food crops and human health. In: ALLOWAY, B. J. (Ed.). *Micronutrient deficiencies in global crop production*. New York: Springer, 2008. 287-309p.

WELCH, R. M. Micronutrients, agriculture and nutrition: linkages for improved health and well being. In: SINGH, K.; MORI, S.; WELCH, R. M. (Ed.). Perspectives on the micronutrient nutrition of crops. Jodhpur: Scientific Publishers, 2001. 247-289p.

WELCH, R. M.; GABELMAN, W. H. Crops as sources of nutrients for humans. Madison: Soil Science Society of America, Crop Science Society of America, American Society of Agronomy, 1984. 89p. (ASA Special Publication, 48).

WELCH, R. M.; GRAHAM, R. D. New paradigm for world agriculture: meeting human needs. Productive, sustainable nutritious. Field Crops Res., 60: 1-10, 1999.

WELCH, R. M.; HOUSE, W. A. Factors affecting the bioavailability of mineral nutrients in plant food. In: WELCH, R.M.; GABELMAN, W.H. (Ed.). Crops as sources of nutrients for humans. Madison: Soil Science Society of America, Crop Science Society of America, American Society of Agronomy, 1984. p.37-54. (ASA Special Publication, 48).

WHITE, P. J.; BROADLEY, M. R. Biofortifying crops with essential mineral elements. Trends in Plant Science, 10: 586-593, 2005.

WHITTAKER, P. Iron and zinc interactions in human. American Journal of Clinical Nutrition, v-68, p.442S-446S, 1998.

WHO/UNICEF. World Health Organization/Fundo das Nações Unidas para a Infância Focusing on anaemia. Disponível em: http://www.who.int/topics/anaemia/en/who_unicef_anaemia_statement.pdf, 2004.

YILMAZ, A.; EKIZ, H.; TORUN, B.; GULTEKIN, I.; KARANLIK, S.; BAGCI, S. A.; CAKMAK, I. Effect of different zinc application methods on grain yield and zinc concentration in wheat grown on zinc-deficient calcareous soils in Central Anatolia. Journal of Plant Nutrition, 20 (4-5): 461-471, 1997.

ZHU, C. F.; NAQVI, S.; GOMEZ-GALERA, S.; PELACHO, A. M.; TERESA CAPELL, T.; CHRISTOU, P. Transgenic strategies for the nutritional enhancement of plants, Trends Plant Sci., 12: 1360-1385, 2007.

CAPÍTULO I - ESTRATÉGIA DE ADUBAÇÃO PARA BIOFORTIFICAÇÃO AGRONÔMICA COM ZINCO EM ARROZ DE TERRAS ALTAS

RESUMO

Em virtude de sua importância alimentar, o arroz está entre os cereais mais produzidos no mundo. Dentre os cereais, o arroz desempenha papel estratégico tanto no aspecto econômico quanto social, sendo foco de estudos de programas de biofortificação. Nesse contexto, observam-se várias pesquisas, na qual, relatam os benéficos obtidos com as práticas agronômicas adotadas pela biofortificação. Para isso, o trabalho objetivou correlacionar aspectos inerentes da biofortificação com os componentes agronômicos das cultivares de arroz de terras altas em razão das estratégias de adubação com Zn, em dois ambientes de cultivo. O estudo foi constituído da cultura arroz de terras altas implantado em duas regiões distintas, uma na cidade de Rio Verde-GO e a outra na cidade de Palotina-PR. Os experimentos foram constituídos de quatro tratamentos: sem aplicação de Zn (controle); aplicação de Zn no solo (Zn-S); aplicação de Zn na folha (Zn-F) e aplicação de Zn no solo e na folha (Zn-S+F). Foram determinados componentes de rendimento como produtividade e massa de 1000 grãos, qualidade nutricional dos grãos e das folhas, concentração e acúmulo de Zn nos grãos. Os teores de Zn (folha) foram afetados pela adubação com Zn no solo, e os teores nos grãos foram afetados quando houve a conciliação do tratamento via solo com o tratamento foliar. A produtividade não foi afetada pelo fator (genótipo vs ambiente), já o maior acúmulo ocorreu no município de Palotina devido balanço entre produtividade e concentração. Conclui-se que o ambiente foi importante para explicitar as características inerentes de cada genótipo de arroz de terras altas, sendo que nas condições do presente trabalho se torna mais viável utilizar uma cultivar comercial com alta produção e aplicar zinco, elevando o acúmulo do mesmo nos grãos. À baixa produtividade das cultivares com propensão a biofortificação, se faz necessário estudos voltados ao aumento de produtividade nos programas de melhoramento para biofortificação.

Palavras-chave: Saúde humana, desnutrição, eficiência nutricional, micronutrientes, *Oryza sativa*.

CHAPTER I - STRATEGY FOR FERTILIZER BIOFORTIFICATION AGRONOMIC WITH ZINC IN UPLAND RICE

ABSTRACT

Because of their importance, the rice is among the most produced cereal in the world. Among cereals, rice plays strategic role both in economics as social, being focus of studies of biofortification programs. In this context, there are several researches, in which report the benefits obtained with the agronomic practices adopted by biofortification. To do this, the work aimed to correlate inherent aspects of biofortification with agronomic components of rice cultivars of highlands due to fertilization strategies with zn in two growing environments. The study was composed of rice culture of uplands deployed in two distinct regions, one in the town of Rio Verde-GO and the other in the town of Palotina, PR the experiments were made up of four treatments: without application of Zn (control); application of Zn in the soil (Zn-S); application of Zn on the sheet (Zn-F) and application of Zn in soil and leaf (Zn-S + F). Yield components were determined as productivity and 1000 grain mass, nutritional quality of grain and leaves, concentration and accumulation of Zn in grains. The levels of Zn (leaf) were affected by the fertilization with Zn in the soil, and the levels in grains were affected when the reconciliation of treatment via soil with the foliar treatment. The productivity was not affected by the factor (vs genotype environment), already the greatest accumulation occurred in the municipality of Palotina due balance between productivity and concentration. It is concluded that the environment was important to clarify the characteristics of each Highland rice genotype, and under the conditions laid down in this work becomes more feasible to use a commercial cultivar with high production and apply zinc, bringing the same buildup in grain. The low productivity of cultivars with propensity to Biofortification, necessary studies aimed at increase of productivity in breeding programs for Biofortification.

Key-words: human health, malnutrition, nutritional efficiency, micronutrients, *Oryza sativa*.

1.3. INTRODUÇÃO

Em virtude de sua importância alimentar, o arroz está entre os cereais mais produzidos no mundo, sendo cultivado em 164 milhões de ha, e com uma produção de aproximadamente 718 milhões de toneladas. Desse total, o Brasil cultiva 1,45% e produz 1,6% (FAO, 2012). É um dos alimentos com melhor balanceamento nutricional, fornecendo 20% da energia e 15 % da proteína per capita necessária ao homem, e sendo uma cultura extremamente versátil, que se adapta a diferentes condições de solo e clima, é considerada a espécie que apresenta maior potencial para o combate contra fome no mundo (EMBRAPA, 2005).

Dentre os cereais, o arroz desempenha papel estratégico tanto no aspecto econômico quanto social, sendo foco de estudos de programas de biofortificação. Nesse contexto, observam-se várias pesquisas, na qual, relatam os benéficos obtidos com as práticas agronômicas adotadas pela biofortificação, como os relatados por Fang et al. (2008); Wei et al. (2012) e Phattarakul et al. (2012), que avaliaram formas de aplicação de nutrientes em arroz, e obtiveram aumentos na concentração de minerais, como Zn e Fe na parte comestível da cultura. Corroborando com Cakmak et al. (2010), que avaliaram métodos de aplicação de Zn associado a doses do elemento no solo, e observaram aumento na produtividade e concentração do elemento nos grãos de cereais.

No entanto, o aumento obtido até o presente momento na concentração de nutrientes nos grãos, foram de 25 mg kg⁻¹ de Zn e de 5-6 mg kg⁻¹ de Fe, resultados esses, que não atingiram os teores alvos, que são de 30 mg kg⁻¹ e 8 mg kg⁻¹ respectivamente Moraes et al. (2009). Fato esse, que pode estar associado aos fatores relacionados ao ambiente, às adaptações das espécies vegetais e práticas culturais que podem influenciar a capacidade das plantas em absorver e translocar os nutrientes, podendo gerar variações na magnitude dos aumentos nos teores dos elementos. Deste modo, faz-se importante novas pesquisas, para melhor compreender tais fatores. Para isso, o trabalho objetivou correlacionar aspectos inerentes da biofortificação com os componentes agronômicos das cultivares de arroz de terras altas em razão das estratégias de adubação com Zn, em dois ambientes de cultivo.

1.4. MATERIAL E MÉTODOS

1.4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O experimento foi instalado em dois ambientes:

Palotina

Localizado no Sul do Brasil e Oeste paranaense. O clima da região, conforme a classificação de Koppen é caracterizado como Cfa (subtropical úmido mesotérmico), com verões quentes e invernos frios ou amenos. Temperatura média anual é de 20°C. Precipitação pluviométrica média anual em torno de 1600 mm e altitude de 332 m. Geadas são frequentes no período frio.

A área experimental foi na Cooperativa Agrícola Central de Pesquisa (COODETEC), localizada nas coordenadas 24°21'10.37" S e 53°45'26.57" W. O solo é muito argiloso, classificado como: LATOSSOLO VERMELHO Distroférico, segundo EMBRAPA (2006), sendo característico dessa região.

Rio Verde

Está localizado no Centro-Oeste brasileiro e na microrregião Sudoeste do Estado de Goiás. O clima é mesotérmico úmido, apresentando duas estações bem definidas: uma seca (de maio a outubro) e outra chuvosa (novembro a abril). A temperatura média anual varia entre 20°C a 35°C e a altitude corresponde 748 m.

A área experimental foi na COODETEC, situada nas coordenadas 17°45'57.5" S e 051°01'46.3" W. O solo é argilo-arenoso, classificado como: LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Eutroférico, segundo EMBRAPA (2006).

A baixo segue dados climatológicos do ano agrícola de 2012/2013 dos dois ambientes de cultivo: Palotina e Rio Verde, **Figura 1(a) e 1(b)** respectivamente. Dados esses, que correspondem ao período de condução da cultura.

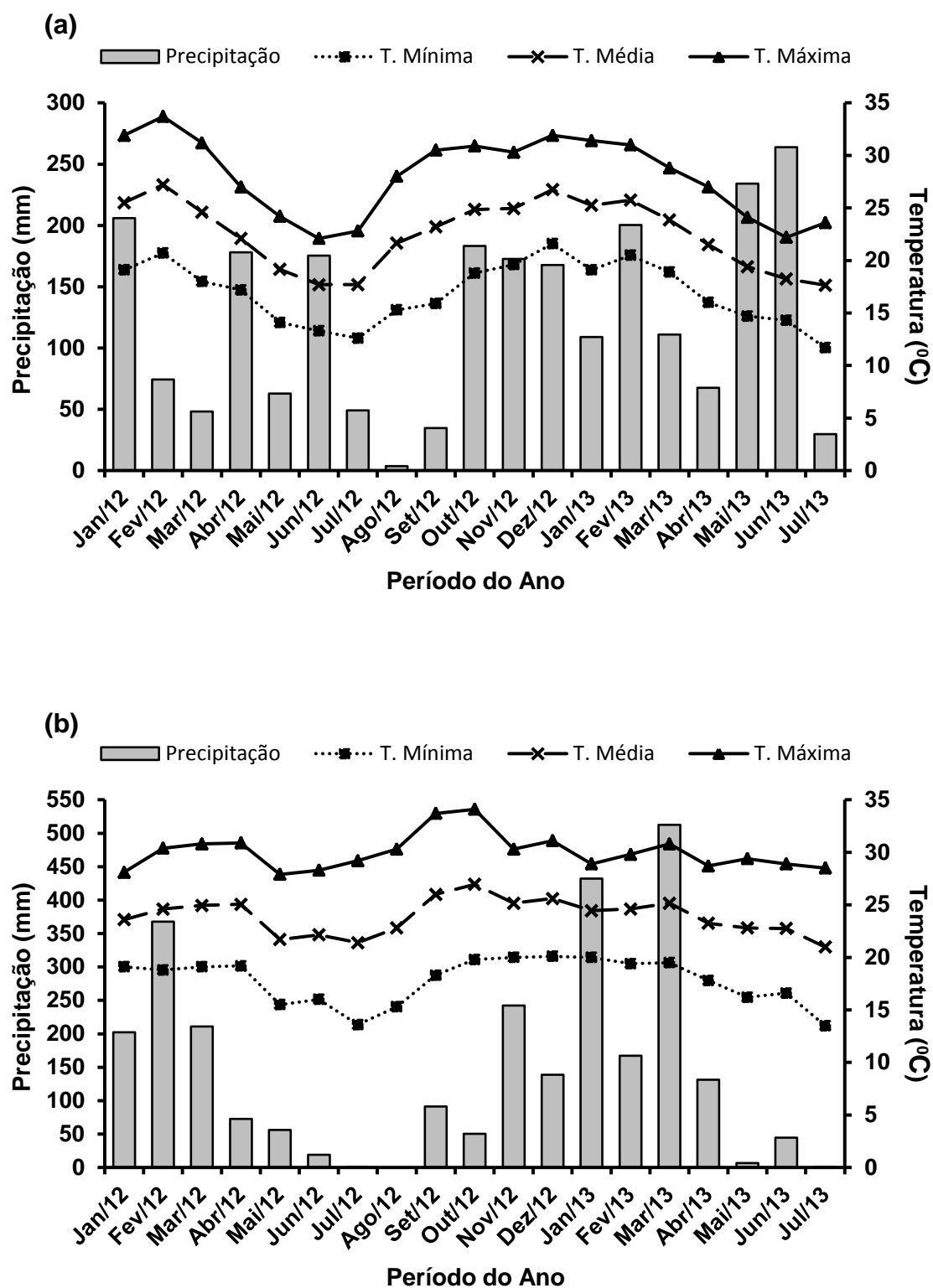


Figura 1: Dados climatológicos de Palotina-PR (a) e Rio Verde-GO (b), no ano agrícola 2012/2013.

1.4.2. INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO

Instalado a campo, o arroz de terras altas foi cultivado no ano agrícola de 2012/2013. Obtendo uma safra em dois locais distintos.

1.4.3. TRATAMENTO E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O experimento foi constituído de quatro tratamentos: sem aplicação de Zn (controle); aplicação de Zn no solo (Zn-S); aplicação de Zn na folha (Zn-F) e aplicação de Zn no solo e na folha (Zn-S+F). A aplicação de Zn no solo foi realizada no plantio, por meio da aplicação de 250 kg ha⁻¹ de um formulado 8-30-20, com 4% de Zn, na forma de óxido finamente moído, que correspondeu a uma dose de 10 kg ha⁻¹ de Zn. Essa dose é considerada alta, porém, segundo Fageria (2000), doses entre 2 a 20 kg ha⁻¹ de Zn proporcionaram maior produção de matéria seca em arroz, feijão, milho, soja e trigo, mostrando não ser uma dose tóxica as plantas. Nesse mesmo trabalho, as doses tóxicas iniciaram-se a partir de 80 kg ha⁻¹ de Zn. Para aplicação de Zn na folha utilizou uma solução com 2% de Sulfato de Zinco Penta-Hidratado (ZnSO₄.5H₂O). Em taxa de aplicação de 200 L ha⁻¹, correspondendo a 4 kg ha⁻¹ de Zn ou 910 g ha⁻¹ de Zn. Aplicado no estágio de desenvolvimento da cultura que correspondeu ao início do enchimento dos grãos, melhor estágio para aplicação foliar, de acordo com Yilmaz et al. (1997). A dose utilizada tanto para adubação de Zn no solo quanto via foliar, é uma dose padrão e está sendo utilizada nos projetos de pesquisa em biofortificação agrônômica do programa HarvestZinc, em vários países.

Trabalhou-se com duas cultivares, sendo uma a mais cultivada na região e a outra escolhida com base nas pesquisas de biofortificação do programa Embrapa – HarvestPlus. Nesse programa, genótipos são selecionados com base em características de desempenho agrônômico, qualidades tecnológicas e de potencial para biofortificação (altos teores de Fe e Zn), segundo Scheeren et al. (2011). Assim, para a cultura do arroz de terras altas foram selecionados: BRS sertaneja e ZEBU Ligeiro, correspondendo as cultivares mais plantadas da região e com características para biofortificação, respectivamente.

Cada experimento foi desenvolvido no delineamento experimental blocos completos casualizados, no esquema fatorial 2 x 4 x 2 (ambientes x tratamentos x cultivares), em 4 repetições, totalizando 64 parcelas.

1.4.4. TRATOS CULTURAIS

Antes da instalação da cultura, foi realizada a análise química e física do solo para cada área utilizada, na profundidade de 0-20 cm, para fins de correção e adubação do mesmo (**Tabela 1**). Conforme análise, não foi necessária a aplicação de calcário em nenhum ambiente de cultivo. As operações de adubação, controle fitossanitário e diagnose nutricional (análise foliar), seguiram as recomendações técnicas da referente região em que foram instalados os experimentos. Assim, para a cultura do arroz de terras altas seguiu as recomendações técnicas sugeridas por Fageria (1998).

Tabela 1: Análise química e física do solo de Palotina e Rio Verde, safra 2012/2013. Análises realizadas antes do cultivo do arroz de terras altas.

Amostra	pH	Al	H + Al	Ca	Mg	K	P	C
	CaCl ₂	-----cmol _c dm ⁻³ -----					mg dm ⁻³	g dm ⁻³
Palotina* 2012	4,61	0,00	6,55	3,56	1,28	0,55	22,93	11,46
	Cu	Zn	Fe	Mn	S-SO ₄	Areia	Silte	Argila
	-----mg dm ⁻³ -----					-----g kg ⁻¹ -----		
	18,41	3,16	47,10	221,55	15,07	147,0	124,5	728,5
Amostra	pH	Al	H + Al	Ca	Mg	K	P	C
	CaCl ₂	-----cmol _c dm ⁻³ -----					mg dm ⁻³	g dm ⁻³
Rio Verde 2012	5,37	0,00	3,10	2,30	0,78	0,22	18,16	21,03
	Cu	Zn	Fe	Mn	S-SO ₄	Areia	Silte	Argila
	-----mg dm ⁻³ -----					-----g kg ⁻¹ -----		
	3,05	6,49	48,30	42,55	57,25	476,2	115,2	408,7

*As análises de solo foram realizadas segundo metodologia da Embrapa (2009), com exceção da determinação de C e S realizadas segundo Raij et al. (2001).

Referente à característica da unidade amostral (parcela) e espaçamento, foram adotadas 4 fileiras de 5 m, com espaçamento entre fileiras de 0,30 m e 60 sementes por metro linear, correspondendo a uma área de 6 m² por parcela. A área útil foi composta pelas 2 fileiras centrais e descontando-se 0,50 m de cada extremidade, restando 2,40 m².

Palotina 19,75 g dm⁻³M.O e Rio Verde 36,25 g dm⁻³ M.O.

1.4.5. VARIÁVEIS RESPOSTAS

As plantas de arroz, foram cultivadas até a maturidade fisiológica dos grãos. Ao longo do desenvolvimento da cultura, realizou análise foliar e determinaram-se as variáveis respostas de rendimento e qualidade nutricional dos grãos, como descritas nos itens a seguir:

1.4.5.1. PRODUTIVIDADE E MASSA DE 1000 GRÃOS

Foram determinadas pela colheita da área útil de cada unidade amostral. Após colhido, descontou-se a umidade, na qual, foi obtida através de amostras retiradas de cada parcela, e na sequencia extrapolou-se os dados de produtividade para kg ha^{-1} . Desse mesmo material coletado, realizou-se a contagem de 1000 grãos, para posterior aferição. Importante relatar ainda, que a colheita foi de forma manual, com intuito de evitar contaminação das amostras, para a análise nutricional.

1.4.5.2. QUALIDADE NUTRICIONAL DO GRÃO

Para determinação dos macronutrientes e micronutrientes no tecido vegetal, aferiu 0,25 g de cada amostra, e as mesmas foram digeridas com ácido nítrico (HNO_3), em sistema fechado em forno micro-ondas modelo Mars Xpress (CEM), com posterior quantificação em ICP-OES (Malavolta et al., 1997). Para determinar o N-total no tecido vegetal, aferiu 0,1 g, na sequencia digeriu-se com ácido sulfúrico (H_2SO_4) em bloco digestor (Jackson, 1958) e quantificou de acordo com o método analítico Kjeldahl (Bremner & Edwards, 1965). O N-total obtido nos grãos foi convertido em proteína, utilizando o fator geral de conversão (6,25), valor esse, que é multiplicado pelo resultados de N-total. Amostras certificadas de tecido vegetal (*Vicia fava*, IPE 903) e (*Phaseolus vulgaris*, IPE 192) pela Wageningen Evaluating Programs for Analytical Laboratories (International Plant-Analytical Exchange) foram utilizadas para garantir o controle de qualidade das análises.

1.4.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Foi realizado teste de homogeneidade das variâncias, os resultados foram submetidos à análise de variância (teste F) e quando significativos, foram comparados por meio do teste de Tukey, ao nível de significância de 5%. Realizado análise multivariada e teste de correlação linear de Pearson, utilizando-se os softwares ASSISTAT (Silva, 2002) e SAS (Pimentel-Gomes & Garcia, 2002), respectivamente.

1.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pode se observar que houve diferença significativa nos teores médios de Zn nas duas cultivares em Palotina, onde o mesmo resultado não foi observado em Rio Verde. A cultivar Zebu ligeiro em Palotina apresentou diferença significativa nos teores de boro quando submetida ao tratamento com zinco (Tabela 2).

Pode ser observado que não houve diferença significativa nos teores de N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn, porém há ocorrência de um leve aumento nos teores de Zn, contudo também foram observados pequenos acréscimos nos teores de Fe, B, N e o efeito inverso para P, K, Ca, Mg, S, Cu, Mn.

Vale salientar que os teores foliares de Zn considerados adequados para a cultura do arroz está entre 25-35 mg kg⁻¹ onde no município de Palotina estava dentro desta faixa com teores entre 25,22 a 33,47 mg kg⁻¹ para a cultivar BRS Sertanejo e 32,59 a 39,72 mg kg⁻¹ para a cultivar Zebu Ligeiro.

Em Rio Verde foi observado que os teores foliares estavam abaixo do considerado adequado para a cultura do arroz, apresentando teores entre 16,05 a 16,48 mg kg⁻¹ para cultivar BRS Sertanejo e 16,77 a 17,34 mg kg⁻¹ para cultivar Zebu Ligeiro. De acordo com Malavolta et al. (1997), apenas os teores médios de S, B, Cu, Mn e Zn, este último somente para Palotina (Tabela 2), seriam considerados adequados e todos os outros seriam deficientes. No entanto, vale ressaltar que a tabela de interpretação de resultados apresentada por esse autor não especifica a origem dos dados, e nem se as concentrações de nutrientes apresentadas são de arroz irrigado ou de sequeiro. Entretanto nos manuais de adubação (CQFS-RS/SC, 2004), Raij et al. (1997) e Souza & Lobato (2004) por apresentarem faixas mais amplas todos os teores médios são considerados adequados para a cultura do arroz de terras altas.

Houve diferença significativa para o nível médio de zinco e Ca, o zinco teve seu teor elevado no tratamento Zn-S+F e cálcio decréscimo no teor médio no tratamento Zn-F.

A cultivar Zebu ligeiro apresentou maiores teores de ambos nutrientes, para os demais nutrientes apresentados foi observado que não houve diferença significativa entre os tratamentos.

Para os nutrientes N, P, Cu e S pode se observar um pequeno aumento nos teores no tratamento Zn-S+F, contudo para os demais nutrientes como K, Mg, Mn, B observou-se tendência a decréscimo nos teores médios (Tabela 2.1).

Tabela 2: Resultados médios de macro e micronutrientes da análise foliar de cultivares de arroz de terras altas (BRS Sertaneja e ZEBU Ligeiro) sem (Controle) e com aplicação de zinco no solo (Zn-S), em distintos ambientes (Palotina e Rio Verde), safra de 2012.

Nutrientes ⁽¹⁾	Palotina				Rio Verde			
	BRS Sertaneja		ZEBU Ligeiro		BRS Sertaneja		ZEBU Ligeiro	
	Controle ⁽²⁾	Zn-S	Controle	Zn-S	Controle	Zn-S	Controle	Zn-S
	-----g kg ⁻¹ -----							
N	29,51 a ⁽³⁾	32,05 a	29,43 b	33,34 a	29,32 a	30,43 a	27,68 a	28,34 a
P	1,84 a	1,89 a	2,13 a	2,12 a	2,07 a	2,02 a	2,22 a	2,13 a
K	13,17 a	13,15 a	17,69 a	16,85 a	15,36 a	15,89 a	16,77 a	16,75 a
Ca	5,19 a	4,80 a	3,10 a	3,43 a	5,53 a	5,05 a	5,33 a	5,17 a
Mg	2,61 a	2,46 a	2,01 a	2,05 a	5,58 a	5,67 a	5,24 a	5,64 a
S	2,07 a	2,05 a	2,13 a	2,14 a	1,67 a	1,72 a	1,60 a	1,56 a
	-----mg kg ⁻¹ -----							
Cu	12,67 a	11,54 a	10,26 a	10,45 a	12,42 b	13,78 a	12,10 b	13,77 a
Zn	25,35 b	33,47 a	32,59 b	39,72 a	16,05 a	16,48 a	16,77 a	17,34 a
Fe	59,26 a	61,96 a	50,73 a	48,51 a	124,70 a	130,85 a	127,26 a	132,43 a
Mn	165,93 a	164,90 a	160,98 a	148,25 a	109,99 a	118,04 a	135,32 a	118,60 a
B	5,14 a	5,44 a	2,99 b	4,12 a	20,49 a	19,69 a	21,21 a	20,27 a

⁽¹⁾ Macro e micronutrientes determinados conforme metodologia de Malavolta et al. (1997), com exceção para o N, obtido de acordo com Bremner & Edwards (1965). ⁽²⁾ Controle (sem aplicação de Zn) e Zn-S (aplicação de 10 kg ha⁻¹ de Zn no solo). ⁽³⁾ Médias seguidas pela mesma letra na horizontal (estatística entre tratamentos da mesma cultivar) não diferem estatisticamente a 5%, pelo teste de Scott-Knott

Tabela 2.1: Resultados médios de macro e micronutrientes da análise de grãos de cultivares de Arroz (BRS Sertanejo e Zebu ligeiro) sem (Controle) e com aplicação de zinco no solo (Zn-S), em distintos ambientes (Palotina), safra de 2012.

Nutrientes(1)	Palotina							
	BRS SERTANEJO				ZEBU LIGEIRO			
	Controle(2)	Zn-S	Zn-F	Zn-S+F	Controle	Zn-S	Zn-F	Zn-S+F
	-----g kg ⁻¹ -----							
N	13,63 a A	14,18 a A	13,28 a A	14,76 a A	13,45 a A	13,21 a A	12,99 a A	13,38 a A
P	2,92 a A	3,01 a A	2,82 a A	3,05 a A	2,77 a A	2,75 a A	2,84 a A	3,17 a A
K	1,64 a A	1,21 a A	1,15 a A	1,12 a A	0,78 a B	0,84 a B	0,87 a B	0,85 a B
Ca	0,09 a A	0,09 a A	0,08 b A	0,09 a A	0,10 a A	0,10 a A	0,09 b A	0,10 a A
Mg	1,51 a A	1,49 a A	1,42 a A	1,45 a A	1,41 a A	1,38 a A	1,42 a A	1,55 a A
S	1,08 a B	1,10 a B	1,05 a B	1,10 a B	1,11 a A	1,12 a A	1,12 a A	1,17 a A
	-----mg kg ⁻¹ -----							
Cu	7,91 a B	7,79 a B	7,15 a B	7,93 a B	8,14 a A	7,47 a A	8,32 a A	8,20 a A
Zn	32,80 c B	33,87 c B	34,27 b B	39,16 a B	37,19 c A	38,04 c A	43,50 b A	45,28 a A
Fe	8,94 a A	9,29 a A	7,46 a A	9,41 a A	8,14 a A	8,28 a A	9,23 a A	10,14 a A
Mn	23,01 a B	22,46 a B	20,43 a B	20,64 a B	24,84 a A	21,13 a A	23,72 a A	26,40 a A
B	1,17 a A	0,99 a A	0,90 a A	0,90 a A	0,57 a B	0,44 a B	0,35 a B	0,41 a B

(¹) Macro e micronutrientes determinados conforme metodologia de Malavolta et al. (1997), com exceção para o N, obtido de acordo com Bremner & Edwards (1965). (2) Controle (sem aplicação de Zn), Zn-S (aplicação de 10 kg ha⁻¹ de Zn no solo) Zn-F (aplicação de 910 g ha⁻¹ de Zn na folha), Zn-S+F (aplicação de 10 kg ha⁻¹ de Zn no solo + aplicação de 910 g ha⁻¹ de Zn na folha). (3) Médias seguidas pela mesma letra na horizontal (estatística entre tratamentos da mesma cultivar) não diferem estatisticamente a 5%, pelo teste de Scott-Knott.

Não houve diferença significativa para os teores médios de zinco entre os tratamentos, mostrando diferença significativa entre as cultivares, contudo cultivar zebu ligeiro apresentou maiores teores do nutriente Zn, o decréscimo de boro foi observado demonstrando diferença significativa em todos os tratamentos com zinco (Tabela 2.1.2). Esses resultados concordam com Malavolta et al. (1997) que ressalta o efeito antagônico destes nutrientes. Entretanto Brune & Dietz (1995) observaram concentrações elevadas de B em cevada que receberam aplicações de Zn. Graham et al. (1987) relataram que a deficiência de Zn aumenta a concentração da B, em plantas de trigo.

Sinha et al. (2000) observaram uma interação sinérgica entre B e Zn na mostarda quando ambos os nutrientes estavam em baixa ou excessiva de concentração Hosseini et al. (2007), relatou haver interação significativa entre B e Zn na cultura no milho, e que essa interação depende da concentração dos nutrientes.

Avaliando formas de aplicação de nutrientes em arroz Wei et al. (2012) e Phattarakul et al. (2012), obtiveram aumentos na concentração de minerais, como Zn e Fe na parte comestível da cultura. Corroborando com Cakmak et al. (2010), que avaliaram métodos de aplicação de Zn associado a doses do elemento no solo, e observaram aumento na produtividade e concentração do elemento nos grãos de cereais.

Os teores médios de Zn e Fe encontrados nas cultivares do presente estudo foram respectivamente 39,16 mg kg⁻¹ e 9,29 mg kg⁻¹ para cultivar BRS Sertaneja em Palotina e 45,28 mg kg⁻¹ e 10,14 mg kg⁻¹ para cultivar Zebu ligeiro, porém no município de Rio Verde foram encontrados teores médios em torno de 21,51 mg kg⁻¹ de Zn e 9,80 mg kg⁻¹ de Fe na Cultivar BRS Sertaneja e 24,54 mg kg⁻¹ para Zn e 9,12 mg kg⁻¹ para Fe na cultivar Zebu Ligeiro, demonstrando que em Palotina foram alcançados os teores alvos que são de 30 mg kg⁻¹ Zn e 8 mg kg⁻¹ de Fe Moraes et al. (2009).

Ao analisar amostras de arroz integral comercializadas em diversas regiões do Brasil, Heinemann et al. (2005) relatam valores médios de 6 mg kg⁻¹ de ferro, 20 mg kg⁻¹ de zinco, contudo os teores de Fe e Zn encontrados nos grãos do presente estudo (Tabelas 2.1 e 2.1.2), são maiores que os relatados anteriormente por Heinemann et al. (2005).

Tabela 2.1.1: Resultados médios de macro e micronutrientes da análise de grãos de cultivares de Arroz (BRS Sertanejo e Zebu ligeiro) sem (Controle) e com aplicação de zinco no solo (Zn-S), em distintos ambientes (Rio Verde), safra de 2012.

Nutrientes(1)	Rio Verde							
	BRS SERTANEJO				BRS ZEBU LIGEIRO			
	Controle(2)	Zn-S	Zn-F	Zn-S+F	Controle	Zn-S	Zn-F	Zn-S+F
	-----g kg ⁻¹ -----							
N	11,25 a A	10,93 a A	11,40 a A	11,54 a A	11,38 a A	11,72 a A	11,30 a A	12,06 a A
P	2,45 a B	2,87 a B	2,83 a B	2,69 a B	3,10 a A	2,99 a A	3,06 a A	2,89 a A
K	0,96 a A	0,90 a A	0,77 a A	0,65 b A	0,74 a B	0,61 a B	0,68 a B	0,52 b B
Ca	0,07 a A	0,07 a A	0,07 a A	0,08 a A	0,08 a A	0,08 a A	0,07 a A	0,07 a A
Mg	1,53 a B	1,68 a B	1,66 a B	1,61 a B	1,80 a A	1,74 a A	1,76 a A	1,72 a A
S	0,86 a A	0,91 a A	0,92 a A	0,88 a A	0,94 a A	0,91 a A	0,92 a A	0,88 a A
	-----mg kg ⁻¹ -----							
Cu	4,61 a A	4,73 a A	5,03 a A	5,02 a A	5,17 a A	5,00 a A	4,86 a A	4,90 a A
Zn	18,54 a B	19,84 a B	21,51 a B	19,27 a B	22,30 a A	22,95 a A	24,54 a A	23,25 a A
Fe	9,80 a A	9,05 a A	9,15 a A	9,08 a A	9,12 a A	8,83 a A	8,72 a A	8,53 a A
Mn	12,77 a A	12,89 a A	11,76 a A	10,24 a A	12,44 a A	10,59 a A	11,24 a A	11,80 a A
B	0,95 a A	0,71 b A	0,59 c A	0,54 c A	0,51 a B	0,38 b B	0,23 c B	0,10 c B

(¹) Macro e micronutrientes determinados conforme metodologia de Malavolta et al. (1997), com exceção para o N, obtido de acordo com Bremner & Edwards (1965). (2) Controle (sem aplicação de Zn), Zn-S (aplicação de 10 kg ha⁻¹ de Zn no solo) Zn-F (aplicação de 910 g ha⁻¹ de Zn na folha), Zn-S+F(aplicação de 10 kg ha⁻¹ de Zn no solo + aplicação de 910 g ha⁻¹ de Zn na folha).

Os resultados de análise de Zn nos grãos de arroz (Tabelas 2.1 e 2.1.2), em respostas às fontes de Zn, mostram a importância da fertilização com zinco para aumentar a qualidade do produto agrícola e, conseqüentemente, beneficiar a saúde humana reduzindo a carência de Zn que aflige 20% da população mundial (Hotz; Brown, 2004). Resultados semelhantes foram obtidos por Cakmak (2008), na Turquia, com a aplicação de Zn em trigo cultivado em solos deficientes em Zn, havendo aumentos de rendimento e teor de Zn em grãos.

Vale destacar, que no Brasil e em várias partes do mundo, o Zn é um dos fatores que mais limita a produção agrícola, sendo que cerca de 50% dos solos cultivados com cereais tem pouco zinco.

Pode ser observado que não houve diferença significativa na massa de 1000 grãos entre as cultivares e entre tratamentos, a cultivar que apresentou maior massa foi a Zebu Ligeiro, este comportamento pode ser observado nos ambientes Palotina e Rio Verde (Tabela 3).

Ao comparar os ambientes de produção quanto as formas de aplicação de Zn, pode se observar que, a maior produtividade ocorreu no tratamento Zn-S+F, independente do ambiente e da cultivar (Figura 2).

A cultivar que apresentou maior produtividade nos dois ambientes foi a BRS Sertanejo, com valores de 2134 kg ha⁻¹ e 2301 kg ha⁻¹, em Palotina e Rio Verde, respectivamente. A resposta positiva do arroz a aplicação de zinco é amplamente relatada na literatura em trabalhos de campo Barbosa Filho et al. (1982) e Schöffel & Lúcio (2002). Souza *et al.* (1998), os quais verificaram acréscimos na produtividade da cultura com aplicação de zinco.

Não houve diferença significativa entre tratamentos e entre cultivares nos dois ambientes estudados para as variáveis concentração de Zn, Fe e proteína (Tabela 4), os maiores teores nos grãos foram obtidos no tratamento Zn-S+F, destacando a cultivar Zebu Ligeiro, com concentrações de Zn nos grãos de 45,3 mg kg⁻¹ em Palotina e 23,3 mg kg⁻¹ em Rio Verde. Entretanto Cakmak et al. (2010) observaram resultados onde o N (proteína) e fertilização de Zn obtiveram um efeito sinérgico sobre a concentração de Zn de grãos.

Tabela 3. Influência dos métodos de aplicação de zinco na massa de 1000 grãos e produtividade de cultivares de arroz de terras altas (média de quatro repetições). Palotina e Rio Verde, safra 2012

Cultivar	Massa de 1000 grãos (g)							
	Palotina				Rio Verde			
	Controle ⁽¹⁾	Zn-S	Zn-F	Zn-S+F	Controle	Zn-S	Zn-F	Zn-S+F
BRS Sertaneja	24,3 a A	24,7 a A	24,5 a A	25,7 a A	25,8 a A	25,9 a B	26,6 a A	25,5 a A
ZEBU Ligeiro	25,7 a A	25,8 a A	26,1 a A	26,2 a A	30,7 a A	32,0 a A	31,6 a A	30,5 a A
Cultivar	Produtividade (kg ha ⁻¹)							
	Palotina				Rio Verde			
	Controle	Zn-S	Zn-F	Zn-S+F	Controle	Zn-S	Zn-F	Zn-S+F
BRS Sertaneja	1316 a A	1769 a A	1460 a A	2134 a A	1465 b A	2181 a A	1720 b A	2301 a A
ZEBU Ligeiro	1230 a A	1326 a A	1383 a A	1481 a A	1334 a A	1588 a A	1417 a A	1885 a A

⁽¹⁾ Métodos de aplicação: Zn-S (Zinco aplicado no solo); Zn-F (Zinco aplicado via foliar) e Zn-S+F (Zinco aplicado no solo e via foliar).

⁽²⁾ Teste de Scott-Knott (5%), médias seguidas pela mesma letra minúscula na horizontal (estatística entre tratamentos da mesma cultivar) e maiúscula na vertical (estatística entre cultivares), não diferem estatisticamente a 5%.

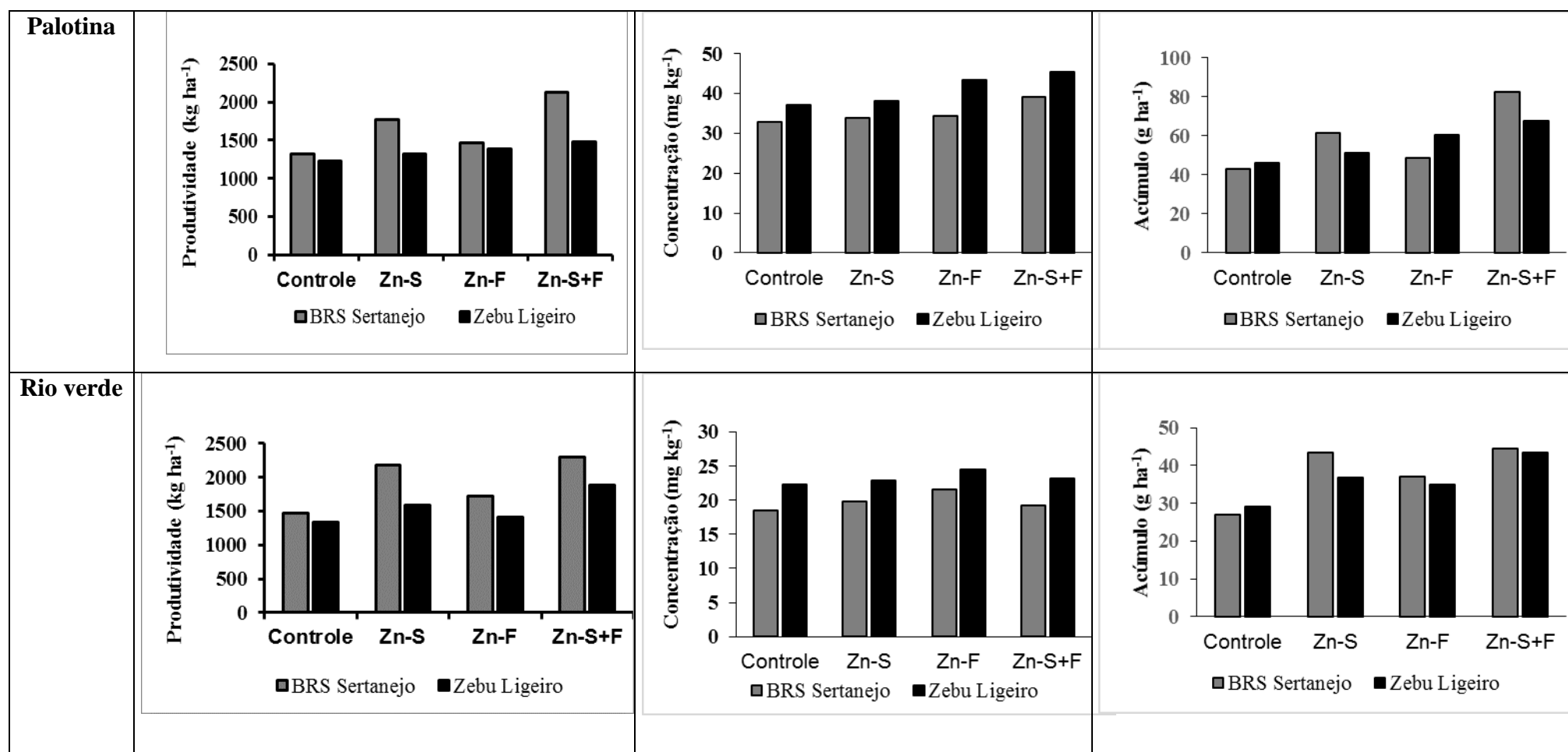


Figura 2: Influência do ambiente (Palotina e Rio Verde) e da forma de aplicação do Zn (Testemunha (Test), Zn aplicado no solo (Zn-S), Zn aplicado via foliar (Zn-F) e Zn aplicado no solo e via foliar (Zn-S+F)), no teor de Zn nos grãos e na produtividade de cultivares de arroz de terras altas

Tabela 4. Influência dos métodos de aplicação de zinco na concentração de Zn, Fe e proteína nos grãos de cultivares de arroz de terras altas (média de quatro repetições). Palotina e Rio Verde, safra 2012.

Cultivar	Concentração de Zn (mg kg ⁻¹)							
	Palotina				Rio Verde			
	Controle ⁽¹⁾	Zn-S	Zn-F	Zn-S+F	Controle	Zn-S	Zn-F	Zn-S+F
BRS Sertaneja	32,8 a A	33,9 a A	34,3 a B	39,2 a B	18,5 a A	19,8 a A	21,5 a A	19,3 a A
ZEBU Ligeiro	37,2 a A	38,0 a A	43,5 a A	45,3 a A	22,3 a A	23,0 a A	24,6 a A	23,3 a A
	Concentração de Fe (mg kg ⁻¹)							
	Palotina				Rio Verde			
	Controle	Zn-S	Zn-F	Zn-S+F	Controle	Zn-S	Zn-F	Zn-S+F
BRS Sertaneja	8,9 a A	9,3 a A	7,5 a A	9,4 a A	9,8 a A	9,1 a A	9,2 a A	9,1 a A
ZEBU Ligeiro	8,1 a A	8,3 a A	9,2 a A	10,1 a A	9,1 a A	8,8 a A	8,7 a A	8,5 a A
	Proteína (%)							
	Palotina				Rio Verde			
	Controle	Zn-S	Zn-F	Zn-S+F	Controle	Zn-S	Zn-F	Zn-S+F
BRS Sertaneja	13,6 a A	14,2 a A	13,3 a A	14,8 a A	11,3 a A	10,9 a A	11,4 a A	11,5 a A
ZEBU Ligeiro	13,5 a A	13,2 a A	13,0 a A	13,4 a A	11,4 a A	11,7 a A	11,3 a A	12,1 a A
	Acúmulo Zn (g ha ⁻¹)							
	Palotina				Rio Verde			
	Controle	Zn-S	Zn-F	Zn-S+F	Controle	Zn-S	Zn-F	Zn-S+F
BRS Sertaneja	42,83bA	61,49bA	48,67bA	82,63aA	26,92aA	43,38aA	37,08aA	44,53aA
ZEBU Ligeiro	46,17bA	51,17bA	60,29bA	67,39aA	29,21aA	36,73aA	34,98aA	43,53aA

⁽¹⁾ Métodos de aplicação: Zn-S (Zinco aplicado no solo); Zn-F (Zinco aplicado via foliar) e Zn-S+F (Zinco aplicado no solo e via foliar).

⁽²⁾ Teste de Scott-Knott (5%), médias seguidas pela mesma letra minúscula na horizontal (estatística entre tratamentos da mesma cultivar) e maiúscula na vertical (estatística entre cultivares), não diferem estatisticamente a 5%

Por outro lado, para o acúmulo houve diferença significativa entre tratamentos para as duas cultivares quando submetidas a aplicação Zn-S+F, comportamento observado nos dois ambientes, destacando a cultivar BRS sertanejo com médias de 82,63 g ha⁻¹ em Palotina e 44,53 g ha⁻¹ em Rio Verde (Figura 2) com destaque para a cultivar BRS Sertanejo apresentando acúmulo médio de 82,63 g ha⁻¹ no município de Palotina. Em Rio Verde não apresentaram diferença estatística entre tratamentos e entre cultivares (Tabela 4). Os teores médios de acúmulo de zinco foram semelhantes entre as cultivares, este comportamento pode ser explicado pelo fato de que enquanto a cultivar BRS Sertanejo obteve a maior produtividade (2301 kg ha⁻¹) de grãos concentrando menos Zn, com média de 19,3 mg kg⁻¹. Enquanto, para cultivar Zebu ligeiro obteve produtividade de 1885 kg ha⁻¹ de grãos atingindo concentrações mais elevadas (23,3 mg kg⁻¹), ocorrendo um balanço entre o acúmulo das cultivares em questão.

Fato este pode ser explicado pela fator genético e ambiental onde Rio Verde por ser um ambiente mais estressante que Palotina no quesito disponibilidade de Zn via solo influenciada pelo pH, teor de argila e M.O (Tabela 1). Corroborando com Fuller et al. (1976) e Korte et al. (1976) estudaram, entre outros elementos, a retenção do zinco em solos com ampla variação do teor de argila e constataram uma alta correlação positiva entre os dois parâmetros, motivo este responsável pelo balanço no acúmulo entre as cultivares. Normalmente, a solubilidade e, conseqüentemente, a movimentação dos micronutrientes catiônicos em questão o zinco, aumenta com a diminuição do pH do solo CAMARGO et al. (1982), explicando assim o potencial de resposta de Palotina na concentração de Zn no grão.

A análise de componentes principais dos dados de Palotina evidenciam que a produtividade e a concentração de proteína nos grãos apresentaram uma relação proporcional, como também observado entre a concentração de Fe e Zn Figura 3(a).

No entanto, a produtividade e concentração de proteína apresentaram relação inversamente proporcional quando comparado a concentração de Zn e Fe, podendo afirmar que nas maiores produtividades e concentrações de proteína, tem-se as menores concentrações de nutrientes (tabela 5).

Possível observar também, o cultivar BRS Sertanejo se associou com as maiores produtividades e proteínas nos grãos, quanto o ZEBU Ligeiro com as maiores concentrações de nutrientes, fato esse importante, uma vez que o cultivar ZEBU Ligeiro apresenta característica de biofortificação, possui tendência a apresentar maiores concentrações de nutrientes em partes comestíveis, como observado nesse trabalho. Corroborando com

McDonald et al. 2008 e Murphy et al., 2008 mostram relação inversa entre produtividade e concentrações de micronutrientes nos grãos

Houve relação inversamente proporcional entre produtividade e concentração de Zn, Fe e proteína, evidenciada pela análise de componentes principais dos dados de Rio Verde, demonstrando relação proporcional entre concentração de Zn, Fe e proteína. Quanto aos cultivares, é notório que BRS Sertanejo relaciona-se com as maiores produtividades e ZEBU Ligeiro com maiores concentrações de Zn, Fe e proteína Figura 3(b). Graham et al. (1992) constataram relação positiva entre o aumento de Zn e Fe nos grãos. Comparando análise de componentes principais entre os ambientes, nota-se comportamento similar dos cultivares em relação as variáveis respostas, caracterizando que mesmo em distintas condições de cultivo, os cultivares não alteraram seu comportamento.

Houve correlação significativa a 5% nos parâmetros Produtividade x Proteína, e significativa correlação a 10% nos parâmetros Teor de Zn x Teor de Fe e Proteína x Teor de Fe dados referentes ao município de Palotina, para o município de Rio Verde correlação significativa a 10% para os parâmetros Teor de Fe x Teor de Zn (tabela 5). Segundo Peleg et al. (2008) o ambiente também influencia os teores de nutriente nos grãos, onde ocorre significativa interação (genótipo vs ambiente), para todas as concentrações de minerais nos grãos.

Tabela 5. Correlação de Pearson entre produtividade, concentração de Zn, concentração de Fe e proteína de duas cultivares de arroz de terras altas, cultivados em distintos ambientes.

Caráter	Palotina			
	Produtividade	Teor Zn	Teor Fe	Proteína
Produtividade	100 ⁽¹⁾			
Teor Zn	0,04 ^{ns}	100		
Teor Fe	0,14 ^{ns}	0,30*	100	
Proteína	0,42**	-0,24 ^{ns}	0,31*	100

Caráter	Rio Verde			
	Produtividade	Teor Zn	Teor Fe	Proteína
Produtividade	100			
Teor Zn	-0,19 ^{ns}	100		
Teor Fe	-0,18 ^{ns}	0,31*	100	
Proteína	-0,21 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,07 ^{ns}	100

(1) ***, **, *, ^{ns}, significativo a correlação de Pearson a 1%, 5%, 10% e não significativo, respectivamente.

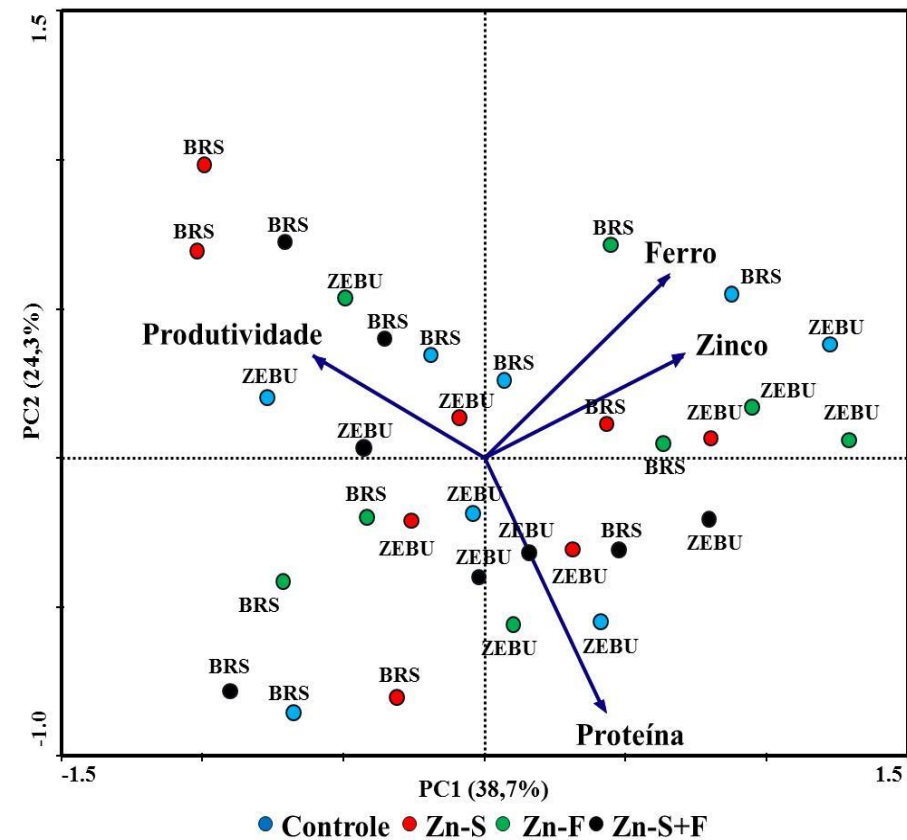
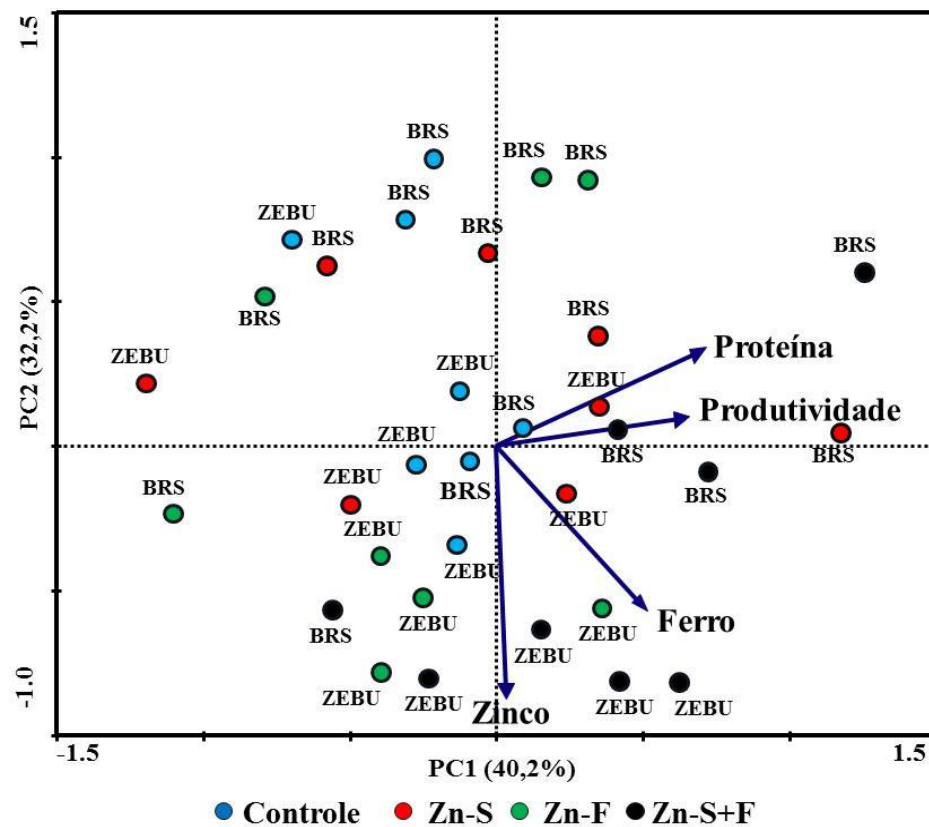


Figura 3: PCA dos cultivares de arroz de terras altas: BRS Sertaneja (BRS) e ZEBU Ligeiro (ZEBU), cultivados em Palotina (a) e Rio Verde (b), safra 2012.

1.6. CONCLUSÕES

- 1- A aplicação de fertilizantes contendo Zn aumenta os teores deste micronutriente nos grãos de arroz de terras altas, mesmo em solos com valores de Zn disponível acima do nível crítico, sendo o melhor método a conciliação da aplicação via solo com complementação foliar.
- 2- O ambiente foi importante para explicitar as características inerentes de cada genótipo de feijão, sendo que nas condições do presente trabalho se torna mais viável utilizar uma cultivar comercial com alta produção e aplicar zinco, elevando o acúmulo do mesmo nos grãos.
- 3- A cultivar comercial BRS Guariba apresentou maiores valores no acúmulo de Zn nos grãos, pelo fato de obter maior produtividade e teores de Zn satisfatórios.
- 4- O ambiente não foi fator limitante para a produtividade de ambas as cultivares.
- 5- O ambiente interferiu significativamente no acúmulo de Zn das cultivares.
- 6- Devido à baixa produtividade da cultivar com propensão a biofortificação Zebu ligeiro, se faz necessário nos programas de melhoramento voltados a biofortificação, a elaboração de estudos voltados ao aumento de produtividade.

1.7. LITERATURA CITADA

BREMNER, J.M. & EDWARDS, H.L. Determination and isotope ratio analysis of different forms of nitrogen in soils. I. Apparatus and procedures for distillation and determination for ammonium. Soil Science Society of America Proceedings, 29:504-507, 1965.

CAKMAK, I.; PFEIFFER, W. H.; MCCLAFFERTY, B. Biofortification of Durum Wheat with Zinc and Iron. cereal chemistry, 87(1): 10-20, 2010.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - CQFS-RS/SC. Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Porto Alegre, 2004.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.

EMBRAPA- Embrapa clima temperado. Cultivo de arroz irrigado no Brasil. Sistemas de produção, 3 ISSN 1806-9207 versão eletrônica. Nov 2005.

EMBRAPA. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 2 ed., Brasília, Embrapa Informações Tecnológicas, 2009. 627p.

FAGERIA, N. K. Manejo da calagem e adubação do arroz. In: Flavio Breseghello & Luis Fernando Stone. (Org.) Tecnologia para o arroz de terras altas. Santo Antônio de Goiás: Embrapa arroz e feijão, 1998. 67-78p.

FAGERIA, N. K. Níveis adequados e tóxicos de zinco na produção de arroz, feijão, milho, soja e trigo em solo de cerrado. R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, Campina Grande, 4(3): 390-395, 2000.

FANG, Y.; WANG, L.; XIN, Z.; ZHA, L.; XINXIN, A.; HU, G. Effect of foliar application of zinc, selenium, and iron fertilizers on nutrients concentration and yield of rice grain in china. J. Agric. Food Chem., 56 (6): 2079–2084, 2008.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. FAOSTAT. 2012. Disponível em <<http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor>>acesso em: 15 de maio 2012.

FULLER, W.H.; KORTE, N.E.; NIEBLA, E.E.; ALESII, B. A. Contribution of soil to the migration of certain common and trace elements. **Soil Science**, Baltimore, **122**:223-35, 1976.

GRAHAM, R. D.; ASCHER, J. S.; HYNES, S. C. Selection of zinc efficient cereal genotypes for soils of low zinc status. *Plant Soil* 146: 241-250, 1992.

HEINEMANN, R.J.B., FAGUNDES, P.L., PINTO, E.A., PENTEADO, M.V.C. Comparative study of nutrient composition of commercial brown, parboiled and milled rice from Brazil. *Journal of Food Composition and Analysis* 18: 287–296. Lanfer-Marquez, U.M. 2005.

JACKSON, M.L. Soil chemical analysis. Englewood Cliffs: Nitrogen determinations for soil and plant tissue. Prentice Hall, 1958. p.183-204:

Korte, N.E.; Skopp, J.; Fuller, W.H.; Niebla, E.E. ; Alesii, B.A. 1976. Trace element movement in soils: influence of soil physical and chemical properties. *Soil Science* 122: 350-359.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e perspectivas. 2 ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fósforo, 1997. 201p.

MORAES, M. F.; NUTTI, M. R.; WATANABE, E.; CARVALHO, J. L. V. Práticas agronômicas para aumentar o fornecimento de nutrientes e vitaminas nos produtos agrícolas alimentares. In: I SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AGROPECUÁRIA SUSTENTÁVEL, Viçosa. Anais. Viçosa, Agricultura, Pecuária e Cooperativismo: 2009. 300-312p.

PIMENTEL-GOMES, F. & GARCIA, C. H. Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos. Piracicaba, FEALQ, 2002. 309p.

PHATTARAKUL, N.; RERKASEM, B.; LI, L. J.; WU, L. H.; ZOU, C. Q.; RAM, H.; SOHU, V. S.; KANG, B. S.; SUREK, H.; KALAYCI, YAZICI, M. A.; ZHANG, F. S.; CAKMAK, I. Biofortification of rice grain with zinc through zinc fertilization in different countries. **Plant and Soil**, v. 361, p. 131-141, 2012.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. rev. e atual. Campinas: Instituto Agrônômico/Fundação IAC, 1997. 285p. (Boletim Técnico, 100).

RAIJ, B.V.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H. & QUAGGIO, J. A. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. IAC, 2001. 285p

SILVA, F. de. S.; AZEVEDO, C. A. V. de. Versão do programa computacional ASSISTAT para o sistema operacional Windows. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande, v.4, n.1, p.71-78, 2002.

SCHEEREN P. L.; CARVALHO J. L. V.; NUTTI M. R.; CAIERÃO E.; BASSOI M. C.; ALBRECHT J. C.; CASTRO R. L.; MIRANDA M. Z.; TORRES G. A. M.; TIBOLA C. S. Biofortificação em trigo no Brasil. In: Reunião Anual de Biofortificação no Brasil, Terezina – Piauí, Anais: IV Reunião Anual de Biofortificação no Brasil, 2011.

YILMAZ, A.; EKIZ, H.; TORUN, B.; GULTEKIN, I.; KARANLIK, S.; BAGCI, S. A.; CAKMAK, I. Effect of different zinc application methods on grain yield and zinc concentration in wheat grown on zinc-deficient calcareous soils in Central Anatolia. *Journal of Plant Nutrition*, 20 (4-5): 461-471, 1997.

WEI, Y.; SHOHAG, M.J.I.; YANG, X.; YIBIN, Z.; Effects of Foliar Iron Application on Iron Concentration in Polished Rice Grain and Its Bioavailability. *J. Agric. Food Chem.*, 60 (45): 11433-11439, 2012

CAPÍTULO 2 - ESTRATÉGIA DE ADUBAÇÃO PARA BIOFORTIFICAÇÃO AGRONÔMICA COM ZINCO EM FEIJÃO-CAUPI

RESUMO

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) está entre as culturas alimentares destaque de regiões secas e áreas marginais dos trópicos e subtropicais. A biofortificação do feijão-caupi, baseia-se principalmente no melhoramento convencional, com seleção de genótipos que acumulam maiores teores de nutrientes nos grãos. O presente trabalho objetivou correlacionar aspectos inerentes da biofortificação com os componentes agronômicos das cultivares de feijão-caupi em razão das estratégias de adubação com Zn, em dois ambientes de cultivo. O estudo foi constituído da cultura feijão-caupi implantado em duas regiões distintas, uma na cidade de Rio Verde-GO e a outra na cidade de Palotina-PR. Os experimentos foram constituídos de quatro tratamentos: sem aplicação de Zn (controle); aplicação de Zn no solo (Zn-S); aplicação de Zn na folha (Zn-F) e aplicação de Zn no solo e na folha (Zn-S+F). Foram determinados componentes de rendimento como produtividade e massa de 1000 grãos, qualidade nutricional dos grãos e das folhas, concentração e acúmulo de Zn nos grãos. Os teores de Zn (folha) foram afetados pela adubação com Zn no solo, e os teores nos grãos foram afetados quando houve a conciliação do tratamento via solo com o tratamento foliar. A produtividade não foi afetada pelo fator (genótipo vs ambiente), já o maior acúmulo ocorreu no município de Palotina devido balanço entre produtividade e concentração. Conclui-se que o ambiente foi importante para explicitar as características inerentes de cada genótipo de feijão, sendo que nas condições do presente trabalho se torna mais viável utilizar uma cultivar comercial com alta produção e aplicar zinco, elevando o acúmulo do mesmo nos grãos. À baixa produtividade das cultivares com propensão a biofortificação, se faz necessário estudos voltados ao aumento de produtividade nos programas de melhoramento para biofortificação.

Palavras-chave: Saúde humana, desnutrição, eficiência nutricional, micronutrientes, *Vigna Unguiculata*.

CHAPTER 2- FERTILIZATION STRATEGY FOR AGRICULTURAL BIOFORTIFICAÇÃO WITH ZINC IN COPEA

ABSTRACT

The Cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) is among the prominent food crops of drylands and marginal areas of the tropics and subtropics. The Biofortification of cowpea, it relies mainly on improving conventional, with selection of genotypes that accumulate higher levels of nutrients in the grain. The present work aimed to correlate inherent aspects of Biofortification with agronomic components of Cowpea cultivars on the basis of the strategies of fertilizing with Zn in two growing environments. The study was composed of Cowpea culture implanted in two distinct regions, one in the town of Rio Verde-GO and the other in the town of Palotina, PR the experiments were made up of four treatments: without application of Zn (control); application of Zn in the soil (Zn-S); application of Zn on the sheet (Zn-F) and application of Zn in soil and leaf (Zn-S + F). Yield components were determined as productivity and 1000 grain mass, nutritional quality of grain and leaves, concentration and accumulation of Zn in grains. The levels of Zn (leaf) were affected by the fertilization with Zn in the soil, and the levels in grains were affected when the reconciliation of treatment via soil with the foliar treatment. The productivity was not affected by the factor (vs genotype environment), already the greatest accumulation occurred in the municipality of Palotina due balance between productivity and concentration. It is concluded that the environment was important to clarify the characteristics of each bean genotype, and under the conditions laid down in this work becomes more feasible to use a commercial cultivar with high production and apply zinc, bringing the same buildup in grain. The low productivity of cultivars with propensity to Biofortification, necessary studies aimed at increase of productivity in breeding programs for Biofortification.

Key-words: human health, malnutrition, nutritional efficiency, micronutrients, *Vigna Unguiculata*.

2.3. INTRODUÇÃO

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) está entre as culturas alimentares destaque de regiões secas e áreas marginais dos trópicos e subtropicais, incluindo partes da Ásia, Oceania, o centro-oeste e sudeste da Europa, África, sudeste dos Estados Unidos, América Central e do Sul. Atualmente os maiores produtores são: Nigéria, Níger e Brasil. Estima-se que essa leguminosa seja cultivada em cerca de 14,5 milhões de hectares com uma produção anual de mais de 4,5 milhões de toneladas (Singh, 2005).

A nível nutricional, desempenha importante papel, pois é fonte de proteínas, nutrientes, como: ferro (Fe), cálcio (Ca), magnésio (Mg), zinco (Zn), vitaminas (principalmente do complexo B), carboidratos e fibras (Mesquita et al., 2007). Devido suas propriedades nutricionais, é considerado um importante alimento para nutrição humana, principalmente em países em desenvolvimento. Dessa forma, sendo foco de estudos de biofortificação, juntamente com: trigo, milho, arroz, mandioca e entre outras espécies de importância alimentar.

A biofortificação do feijão-caupi, baseia-se principalmente no melhoramento convencional, com seleção de genótipos que acumulam maiores teores de nutrientes nos grãos. Em trabalhos desenvolvidos com banco de germoplasma de feijão da coleção do Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), na Colômbia, constata-se que há variabilidade genética suficiente para aumentar em 80% o conteúdo de ferro (Fe) nos grãos e em 50% o teor de zinco (Zn) (Beebe et al., 2000). Além disso, observa-se a presença de variabilidade genética para teores de diversos microminerais em cultivares de feijão (Barampama & Simard, 1993; Beebe et al., 2000; Guzmán-Maldonado et al., 2000; Araújo et al., 2003; Cichy et al., 2005). Para complementar os efeitos do melhoramento convencional, outras intervenções para aumentar o conteúdo de nutrientes nos grãos de feijão também estão sendo realizadas, com destaque para a adubação mineral com micronutrientes, que tem proporcionados resultados promissores, apesar de ser um estudo recente.

Nesse contexto, referente aos avanços obtidos com a biofortificação, o feijão-caupi, partiu de teores comuns nos grãos de 20 mg kg⁻¹ de Zn e 40 mg kg⁻¹ de Fe para 40 mg kg⁻¹ e 70 mg kg⁻¹ respectivamente (Moraes et al., 2009). Porém, os teores alvos para Zn e Fe, estipulados pelos programas de biofortificação para a espécie em questão, é de: 50 mg kg⁻¹ de Zn e 100 mg kg⁻¹ de Fe. Para que seja possível obter os teores nutricionais exigidos no alimento, se faz necessário novos estudos. Dessa forma, o trabalho objetivou correlacionar

aspectos inerentes da biofortificação com os componentes agronômicos das cultivares de feijão-caupi em razão das estratégias de adubação com Zn, em dois ambientes de cultivo.

2.4. MATERIAL E MÉTODOS

2.4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O experimento foi instalado em dois ambientes:

Palotina

Localizado no Sul do Brasil e Oeste paranaense. O clima da região, conforme a classificação de Koppen é caracterizado como Cfa (subtropical úmido mesotérmico), com verões quentes e invernos frios ou amenos. Temperatura média anual é de 20°C. Precipitação pluviométrica média anual em torno de 1600 mm e altitude de 332 m. Geadas são frequentes no período frio.

A área experimental foi na Cooperativa Agrícola Central de Pesquisa (COODETEC), localizada nas coordenadas 24°21'10.37" S e 53°45'26.57" W. O solo é muito argiloso, classificado como: LATOSSOLO VERMELHO Distroférrico, segundo EMBRAPA (2006).

Rio Verde

Está localizado no Centro-Oeste brasileiro e na microrregião Sudoeste do Estado de Goiás. O clima é mesotérmico úmido, apresentando duas estações bem definidas: uma seca (de maio a outubro) e outra chuvosa (novembro a abril). A temperatura média anual varia entre 20°C a 35°C e a altitude corresponde 748 m.

A área experimental foi na COODETEC, situada nas coordenadas 17°45'57.5" S e 051°01'46.3" W. O solo é argilo-arenoso, classificado como: LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Eutroférrico, segundo EMBRAPA (2006).

A baixo segue dados climatológicos do ano agrícola de 2012/2013 dos dois ambientes de cultivo: Palotina e Rio Verde, **Figura 1(a) e 1(b)** respectivamente. Dados esses, que correspondem ao período de condução da cultura.

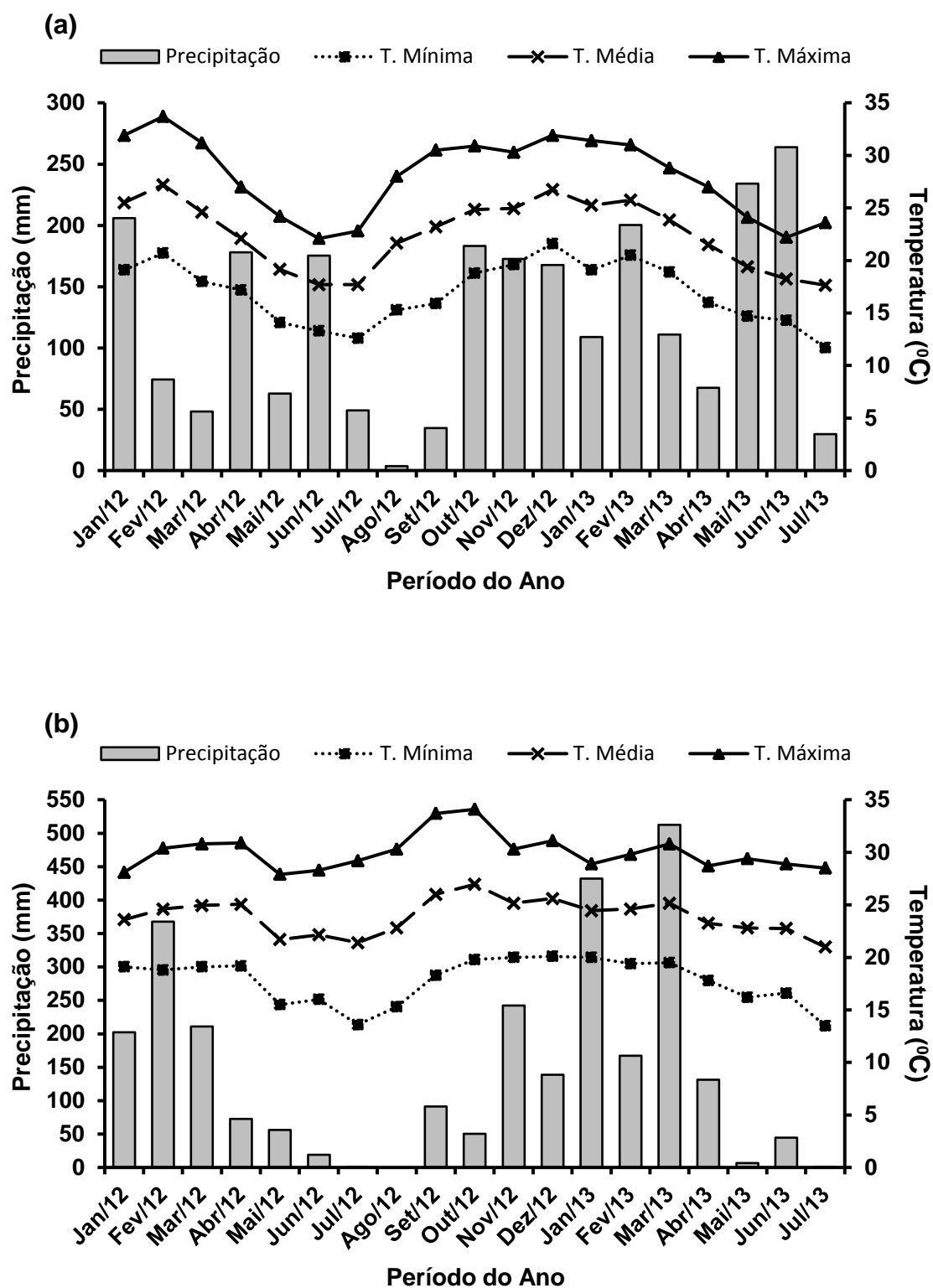


Figura 1: Dados climatológicos de Palotina-PR (a) e Rio Verde-GO (b), no ano agrícola 2012/2013.

2.4.2. INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO

Instalado a campo, cultivando feijão-caupi, no ano agrícola de 2012/2013. Obtendo uma safra em dois locais distintos.

2.4.3. TRATAMENTO E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O experimento constituiu de quatro tratamentos: sem aplicação de Zn (controle); aplicação de Zn no solo (Zn-S); aplicação de Zn na folha (Zn-F) e aplicação de Zn no solo e na folha (Zn-S+F). A aplicação de Zn no solo foi realizada no plantio, por meio da aplicação de 250 kg ha⁻¹ de um formulado 8-30-20, com 4% de Zn, na forma de óxido finamente moído, que correspondeu a uma dose de 10 kg ha⁻¹ de Zn. Essa dose é considerada alta, porém, segundo Fageria (2000), doses entre 2 a 20 kg ha⁻¹ de Zn proporcionaram maior produção de matéria seca em arroz, feijão, milho, soja e trigo, mostrando não ser uma dose tóxica as plantas. Nesse mesmo trabalho, as doses tóxicas iniciaram-se a partir de 80 kg ha⁻¹ de Zn. Para aplicação de Zn na folha utilizou uma solução com 2% de Sulfato de Zinco Penta-Hidratado (ZnSO₄.5H₂O). Em taxa de aplicação de 200 L ha⁻¹, correspondendo a 4 kg ha⁻¹ de Zn ou 910 g ha⁻¹ de Zn. Aplicado no estágio de desenvolvimento da cultura que correspondeu ao início do enchimento dos grãos, melhor estágio para aplicação foliar, de acordo com Yilmaz et al. (1997). A dose utilizada tanto para adubação de Zn no solo quanto via foliar, é uma dose padrão e está sendo utilizada nos projetos de pesquisa em biofortificação agrônômica do programa HarvestZinc, em vários países.

Trabalhou-se com duas cultivares, sendo uma a mais cultivada na região e a outra escolhida com base nas pesquisas de biofortificação do programa Embrapa – HarvestPlus. Nesse programa, genótipos são selecionados com base em características de desempenho agrônômico, qualidades tecnológicas e de potencial para biofortificação (altos teores de Fe e Zn), segundo Scheeren et al. (2011). Assim, para a cultura do feijão-caupi foram selecionados: BRS Guariba e BRS Xiquexique, correspondendo as cultivares mais plantadas da região e com características para biofortificação, respectivamente.

Cada experimento foi desenvolvido no delineamento experimental blocos completos casualizados, no esquema fatorial 2 x 4 x 2 (ambientes x tratamentos x cultivares), em 4 repetições, totalizando 64 parcelas.

2.4.4. TRATOS CULTURAIS

Antes da instalação da cultura, foi realizada a análise química e física do solo para cada área utilizada, na profundidade de 0-20 cm, para fins de correção e adubação do mesmo (**Tabela 1**). Conforme análise, não foi necessária a aplicação de calcário em nenhum ambiente de cultivo. As operações de adubação, controle fitossanitário e diagnose nutricional (análise foliar), seguiram as recomendações técnicas da referente região em que foram instalados os experimentos. Assim, para a cultura feijão-caupi seguiu as recomendações técnicas sugeridas por Andrade Júnior et al. (2003).

Tabela 1: Análise química e física do solo de Palotina e Rio Verde, safra 2012/2013. Análises realizadas antes do cultivo do feijão-caupi.

Amostra	pH	Al	H + Al	Ca	Mg	K	P	C
	CaCl ₂	-----cmol _c dm ⁻³ -----					mg dm ⁻³	g dm ⁻³
Palotina* 2012	4,60	0,07	6,45	3,75	1,35	0,57	23,28	11,72
	Cu	Zn	Fe	Mn	S-SO ₄	Areia	Silte	Argila
	-----mg dm ⁻³ -----					-----g kg ⁻¹ -----		
	17,95	3,01	38,32	200,93	11,91	151,5	121,5	727,0
Amostra	pH	Al	H + Al	Ca	Mg	K	P	C
	CaCl ₂	-----cmol _c dm ⁻³ -----					mg dm ⁻³	g dm ⁻³
Rio Verde 2012	5,91	0,00	1,00	3,68	2,22	0,12	3,09	16,35
	Cu	Zn	Fe	Mn	S-SO ₄	Areia	Silte	Argila
	-----mg dm ⁻³ -----					-----g kg ⁻¹ -----		
	29,43	1,97	61,02	1,93	1,50	468,3	116,4	415,3

*As análises de solo foram realizadas segundo metodologia da Embrapa (2009), com exceção da determinação de C e S realizadas segundo Raij et al. (2001).

Referente à característica da unidade amostral (parcela) e espaçamento, foram adotadas 4 fileiras de 5 m. Quanto ao espaçamento, adotou conforme o porte da cultivar. Para BRS Guariba, por ser de porte semiereto, o espaçamento entre fileiras é de 0,50 m e para BRS Xiquexique, de porte semiprostrada, utilizou 0,80 m. O espaçamento entre plantas foi de 0,25 m e 10 sementes por metro linear, para ambos os portes. Essas dimensões equivalem a uma área de 10 m² e 16 m², que ao descontar 0,50 m da extremidade e considerar as duas linhas centrais, correspondente a uma área útil de 4,00 m² e 6,40 m² respectivamente.

2.4.5. VARIÁVEIS RESPOSTAS

As plantas de feijão-caupi, foram cultivadas até a maturidade fisiológica dos grãos. Ao longo do desenvolvimento da cultura, realizou análise foliar e determinaram-se as variáveis respostas de rendimento e qualidade nutricional dos grãos, como descritas nos itens a seguir:

2.4.5.1 PRODUTIVIDADE E MASSA DE 1000 GRÃOS

Foram determinadas pela colheita da área útil de cada unidade amostral. Após colhido, descontou a umidade, na qual, foi obtida através de amostras retiradas de cada parcela, e na sequencia extrapolou os dados de produtividade para kg ha^{-1} . Desse mesmo material coletado, realizou a contagem de 1000 grãos, para posterior aferição. Importante relatar ainda, que a colheita foi de forma manual, com intuito de evitar contaminação das amostras, para a análise nutricional.

2.4.5.2 QUALIDADE NUTRICIONAL DO GRÃO

Para determinação dos macronutrientes e micronutrientes no tecido vegetal, aferiu 0,25 g de cada amostra, e digeriram as mesmas com ácido nítrico (HNO_3), em sistema fechado em forno micro-ondas modelo Mars Xpress (CEM), com posterior quantificação em ICP-OES (Malavolta et al., 1997). Para determinar o N-total no tecido vegetal, aferiu 0,1 g, na sequencia digeriu com ácido sulfúrico (H_2SO_4) em bloco digestor (Jackson, 1958) e quantificou de acordo com o método analítico Kjeldahl (Bremner & Edwards, 1965). O N-total obtido nos grãos foi convertido em proteína, utilizando o fator geral de conversão (6,25), valor esse, que é multiplicado pelo resultados de N-total. Amostras certificadas de tecido vegetal (*Vicia fava*, IPE 903) e (*Phaseolus vulgaris*, IPE 192) pela Wageningen Evaluating Programs for Analytical Laboratories (International Plant-Analytical Exchange) foram utilizadas para garantir o controle de qualidade das análises.

2.4.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Foi realizado teste de homogeneidade das variâncias, os resultados foram submetidos à análise de variância (teste F) e quando significativos, foram comparados por meio do teste de Tukey, ao nível de significância de 5%. Realizado análise multivariada e teste de correlação linear de Pearson, utilizando-se os softwares ASSISTAT (Silva 2002) e SAS (Pimentel-Gomes & Garcia, 2002), respectivamente.

2.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve diferença significativa para o tratamento Zn-S nos teores do nutriente Zn quando comparado com o controle (Tabela 2). Este efeito pode ser observado nos dois ambientes com predominância da cultivar BRS Guariba que atingiu teores nas folhas de 38,12 mg kg⁻¹ de Zn em Palotina e 25,81 mg kg⁻¹ em Rio Verde.

Para os nutrientes N, P, K, Mg, Mn seus valores médios no município de Palotina não foram significativos, no entanto em Rio Verde o P, Zn, Fe, Mn e boro obtiveram teores médios significativos.

Deve-se ressaltar também que os teores foliares de Zn considerados adequados para a cultura do Feijão-caupi está entre 40-50 mg kg⁻¹ onde nos municípios de Palotina e Rio Verde estavam abaixo desta faixa com teores entre 31,53 e 38,12 mg kg⁻¹ para a cultivar BRS Guariba e 32,07 a 32,09 mg kg⁻¹ para cultivar BRS Xiquexique em Palotina, em Rio Verde os teores variaram entre 21,24 a 25,81 mg kg⁻¹ para cultivar BRS Guariba e 21,87 a 24,54 mg kg⁻¹ para cultivar BRS Xiquexique.

De acordo com Malavolta et al. (1997), os teores médios dos nutrientes Zn, Fe, Mn e B (Tabela 2) estariam abaixo no nível considerado adequado, e os demais nutrientes classificados como ideais. No entanto, há que se considerar que a tabela de interpretação de resultados apresentada por esse autor não especifica a origem dos dados. No entanto nos Manuais de adubação (CQFS-RS/SC, 2004), Raij et al (1997) e Sousa & Lobato (2004) por apresentarem faixas mais amplas todos os teores médios estão dentro dos teores considerados adequados para a cultura do Feijão.

Desta maneira, pode-se constatar que o teor de Zn obtido está próximo ao valor considerado adequado para o bom desenvolvimento do feijoeiro, o que foi justificado pela ausência de sintoma de deficiência.

Houve diferença significativa para o nutriente N entre cultivares não diferindo estatisticamente entre tratamentos (Tabela 2.1), apresentando diferença significativa entre tratamentos e não diferindo estatisticamente entre cultivares (Tabela 2.1.2).

A cultivar que apresentou maiores teores médios foi a cultivar BRS Guariba, os nutrientes P, K, Mg, Fe e Mn (Tabela 2.1) e P e S (Tabela 2.1.2) não diferiram significativamente seus teores entre tratamentos e cultivares, para Ca, Cu, B (Tabela 2.1) e K, Ca, Cu, Mn, B (Tabela 2.1.2) não houve diferença significativa entre tratamentos mais houve diferença significativa entre cultivares.

A cultivar BRS Xiquexique apresentou maiores valores médios, para o nutriente Zn, houve diferença significativa entre tratamentos, as maiores medias foram obtidas nos tratamentos Zn-F e Zn-S+F e entre cultivares, destacando a cultivar BRS Xiquexique, para o nutriente Fe não houve diferença significativa entre cultivares, apresentando diferença significativa entre tratamentos onde as maiores médias obtidas foram nos tratamentos Zn-F e Zn-S+F (Tabelas 2.1 e 2.1.2).

Avaliando formas de aplicação de nutrientes em arroz Wei et al. (2012) e Phattarakul et al. (2012), obtiveram aumentos na concentração de minerais, como Zn e Fe na parte comestível da cultura. Corroborando as observações de Cakmak et al. (2010), que avaliaram métodos de aplicação de Zn associado a doses do elemento no solo, e observaram aumento na produtividade e concentração do elemento nos grãos de cereais.

Ao determinar as quantidades de zinco presentes em alimentos consumidos na Espanha Terrés et al. (2001), observaram que os teores encontrados em alimentos ricos em proteínas, eram significativamente maiores que os encontrados em alimentos com baixo teor proteico.

Tabela 2: Resultados médios de macro e micronutrientes da análise foliar de cultivares de feijão-caupi (BRS Guariba e BRS Xiquexique) sem (Controle) e com aplicação de zinco no solo (Zn-S), em distintos ambientes (Palotina e Rio Verde), safra de 2012.

Nutrientes ⁽¹⁾	Palotina				Rio Verde			
	BRS Guariba		BRS Xiquexique		BRS Guariba		BRS Xiquexique	
	Controle ⁽²⁾	Zn-S	Controle	Zn-S	Controle	Zn-S	Controle	Zn-S
	g kg ⁻¹							
N	41,87 a A	41,81 a A	42,24 a A	41,14 a A	56,38 a A	54,73 a A	57,12 a A	56,34 a A
P	3,61 a A	3,37 a A	3,64 a A	3,46 a A	2,57 b A	2,89 a A	3,07 a A	2,96 a A
K	34,22 a A	32,04 a A	31,12 a A	32,24 a A	20,03 a A	20,61 a A	20,63 a A	22,58 a A
Ca	24,88 a B	21,83 a B	26,50 a A	29,79 a A	15,01 a A	15,45 a A	17,87 a A	16,28 a A
Mg	6,01 a A	5,93 a A	5,70 a A	5,49 a A	5,41 a A	5,50 a A	5,67 a A	5,47 a A
S	2,97 a A	2,57 a A	2,78 a A	2,92 a A	2,42 a A	2,38 a A	2,50 a A	2,37 a A
	mg kg ⁻¹							
Cu	6,22 b A	8,49 a A	6,22 a A	6,10 a A	5,99 a B	6,18 a B	6,97 a B	6,91 a B
Zn	31,53 a A	38,12 a A	32,07 a A	32,09 a A	21,24 b B	25,81 a B	21,87 b B	24,54 a B
Fe	112,44 a A	119,63 a A	114,09 a A	112,24 a A	136,05 b A	174,24 a A	114,52 b A	133,21 a A
Mn	143,10 a A	151,70 a A	180,54 a A	174,27 a A	133,21 a B	121,69 b B	120,04 b B	137,17 a B
B	69,49 a A	75,68 a A	71,53 a A	72,08 a A	38,96 a B	39,38 a B	41,49 b B	51,97 a B

⁽¹⁾Macro e micronutrientes determinados conforme metodologia de Malavolta et al. (1997), com exceção para o N, obtido de acordo com Bremner & Edwards (1965). ⁽²⁾Controle (sem aplicação de Zn) e Zn-S (aplicação de 10 kg ha⁻¹ de Zn no solo). (3) Médias seguidas pela mesma letra na horizontal (estatística entre tratamentos da mesma cultivar) não diferem estatisticamente a 5%, pelo teste de Scott-Knott.

Tabela 2.1: Resultados médios de macro e micronutrientes da análise de grãos de cultivares de feijão-caupi (BRS Guariba e BRS Xiquexique) sem (Controle) e com aplicação de zinco no solo (Zn-S), em distintos ambientes (Palotina e Rio Verde), safra de 2012.

Nutrientes ⁽¹⁾	Palotina							
	BRS GUARIBA				BRS Xiquexique			
	Controle ⁽²⁾	Zn-S	Zn-F	Zn-S+F	Controle	Zn-S	Zn-F	Zn-S+F
	-----g kg ⁻¹ -----							
N	29,00 a A	29,50 a A	30,04 a A	29,11aA	26,55 a B	28,45 a B	27,84 a B	27,68 a B
P	4,65 a A	4,48 a A	4,66 a A	4,44 a A	4,36 a A	4,59 a A	4,79 a A	4,62 a A
K	11,16 a A	11,48 a A	10,97 a A	11,94 a A	11,61 a A	11,59 a A	10,86 a A	11,97 a A
Ca	0,61 a B	0,71 a B	0,66 a B	0,63 a B	0,74 a A	0,96 a A	0,98 a A	0,83 a A
Mg	2,58 a A	2,62 a A	2,50 a A	2,59 a A	2,46 a A	2,63 a A	2,83 a A	2,49 a A
S	2,34 a A	2,06 a A	2,27 a A	1,99 a A	1,71 a B	1,82 a B	1,84 a B	1,77 a B
	-----mg kg ⁻¹ -----							
Cu	4,62 a B	5,29 a B	4,29 a B	5,60 a B	5,84 a A	6,01 a A	6,24 a A	5,78 a A
Zn	40,56 b B	42,24 b B	43,29 a B	45,62 a B	44,61 b A	44,76 b A	54,04 a A	47,95 a A
Fe	63,74 a A	63,99 a A	66,21 a A	65,69 a A	69,22 a A	67,33 a A	64,62 a A	66,33 a A
Mn	22,84 a A	22,17 a A	23,11 a A	21,91 a A	21,91 a A	22,10 a A	23,19 a A	19,28 a A
B	12,42 a B	14,60 a B	12,29 a B	15,88 a B	15,97 a A	15,74 a A	17,13 a A	16,04 a A

⁽¹⁾ Macro e micronutrientes determinados conforme metodologia de Malavolta et al. (1997), com exceção para o N, obtido de acordo com Bremner & Edwards (1965). ⁽²⁾ Controle (sem aplicação de Zn), Zn-S (aplicação de 10 kg ha⁻¹ de Zn no solo) Zn-F (aplicação de 910 g ha⁻¹ de Zn na folha), Zn-S+F (aplicação de 10 kg ha⁻¹ de Zn no solo + aplicação de 910 g ha⁻¹ de Zn na folha). ⁽³⁾ Médias seguidas pela mesma letra na horizontal (estatística entre tratamentos da mesma cultivar) não diferem estatisticamente a 5%, pelo teste de Scott-Knott

Tabela 2.1.2: Resultados médios de macro e micronutrientes da análise de grãos de cultivares de feijão-caupi (BRS Guariba e BRS Xiquexique) sem (Controle) e com aplicação de zinco no solo (Zn-S), em distintos ambientes (Rio Verde), safra de 2012.

Nutrientes(1)	Rio Verde							
	BRS GUARIBA				BRS Xiquexique			
	Controle(2)	Zn-S	Zn-F	Zn-S+F	Controle	Zn-S	Zn-F	Zn-S+F
	-----g kg ⁻¹ -----							
N	29,18 b A	30,25 a A	30,18 a A	31,35 a A	29,12 b A	31,14 a A	30,74 a A	31,21 a A
P	3,53 a A	3,37 a A	3,43 a A	3,81 a A	3,41 a A	3,46 a A	3,62 a A	3,78 a A
K	8,43 a B	9,39 a B	8,67 a B	9,11 a B	10,52 a A	10,67 a A	10,54 a A	10,70 a A
Ca	0,47 a B	0,43 a B	0,53 a B	0,46 a B	0,59 a A	0,54 a A	0,58 a A	0,52 a A
Mg	2,37 a A	2,36 a A	2,49 a A	2,47 a A	2,27 a B	2,24 a B	2,27 a B	2,38 a B
S	1,88 a A	1,95 a A	1,85 a A	1,92 a A	1,84 a A	1,91 a A	1,85 a A	1,93 a A
	-----mg kg ⁻¹ -----							
Cu	5,24 a B	5,41 a B	5,22 a B	5,29 a B	5,56 a A	5,73 a A	5,56 a A	5,62 a A
Zn	31,97 b B	33,75 b B	37,98 a B	38,80 a B	31,95 b A	34,07 b A	48,78 a A	46,56 a A
Fe	63,68 b A	63,38 b A	70,46 a A	66,29 a A	63,72 b A	62,75 b A	67,85 a A	69,37 a A
Mn	15,02 a B	14,91 a B	13,23b a B	14,34 a B	15,90 a A	15,23 a A	14,98 b A	16,37 a A
B	12,98 a B	13,64 a B	14,15 a B	13,71 a A	16,67 a A	15,34 a A	15,66 a A	15,22 a A

(1) Macro e micronutrientes determinados conforme metodologia de Malavolta et al. (1997), com exceção para o N, obtido de acordo com Bremner & Edwards (1965). (2) Controle (sem aplicação de Zn), Zn-S (aplicação de 10 kg ha⁻¹ de Zn no solo) Zn-F (aplicação de 910 g ha⁻¹ de Zn na folha), Zn-S+F (aplicação de 10 kg ha⁻¹ de Zn no solo + aplicação de 910 g ha⁻¹ de Zn na folha). (3) Médias seguidas pela mesma letra na horizontal (estatística entre tratamentos da mesma cultivar) não diferem estatisticamente a 5%, pelo teste de Scott-Knott

A indução do aumento na quantidade de proteínas realizada pelo melhoramento genético, pode ocasionar também um aumento nos teores de zinco presentes no grão. Observa-se que o feijão-caupi pode melhorar substancialmente a adequação de certos minerais como ferro e zinco Cruz (2000).

A cultivar BRS Guariba obteve maiores medias na variável massa de 1000 grãos diferindo estatisticamente da cultivar BRS Xiquexique, este comportamento ocorreu nos dois ambientes, não obtendo diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 3).

Houve diferença significativa para produtividade entre cultivares, onde a cultivar BRS Guariba apresentou diferença significativa nos dois ambientes quando comparada a cultivar BRS Xiquexique, sendo maior no tratamento Zn-S para as duas cultivares, a cultivar que obteve maior produtividade foi a BRS Guariba independente do ambiente obtendo produtividade média de 1183 kg ha⁻¹ em Palotina e 1234 kg ha⁻¹ em Rio Verde (Tabela 3 e Figura 2). Santos et al. (2009 a, b) e Santos et al. (2011) observaram comportamentos semelhantes em diversas cultivares de feijão-caupi.

Houve diferença significativa entre tratamentos e entre cultivares nos dois ambientes estudados para a variável concentração de Zn onde a BRS Xiquexique apresentou maiores teores de Zn nos grãos nos tratamentos Zn-F e Zn-S+F (Figura 2 e 4), Obtendo maior teor nos dois ambientes e alcançando valores médios de 54,0 mg kg⁻¹ em Palotina e 48,8 mg kg⁻¹ em Rio Verde. Pinho et al. (2005) relatam que o feijão-caupi ao contrário do feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) e de outras leguminosas, adapta-se relativamente bem a uma ampla faixa de clima e solo. Fato este podendo ser observado na (Figura2). Corroborando com os dados obtidos por Vilarinho et al. (2008) que ao estudarem variedades de feijão-caupi encontraram valores semelhantes. Destacando que em Palotina os teores foram maiores que em Rio Verde, para a variável concentração de Fe não houve diferença significativa entre tratamentos e cultivares, observando a variável proteína houve diferença significativa entre cultivares e não diferindo entre tratamentos (Tabela 4). Em Palotina foi observado comportamento contrário a Rio Verde apresentando diferença significativa entre tratamentos e não significativa entre cultivares (Tabela 4).

Houve diferença significativa entre tratamentos para as duas cultivares no acúmulo de Zn nos grãos quando submetidas a aplicação Zn-S+F no município de Palotina, em de Rio Verde as medias entre tratamentos não apresentaram diferença significativa más entre cultivares apresentaram diferença estatística, destacando a cultivar BRS Guariba com valores de 49,05 g ha⁻¹ em Palotina e 61,11 g ha⁻¹ em Rio Verde (Tabela 4 e Figura 2).

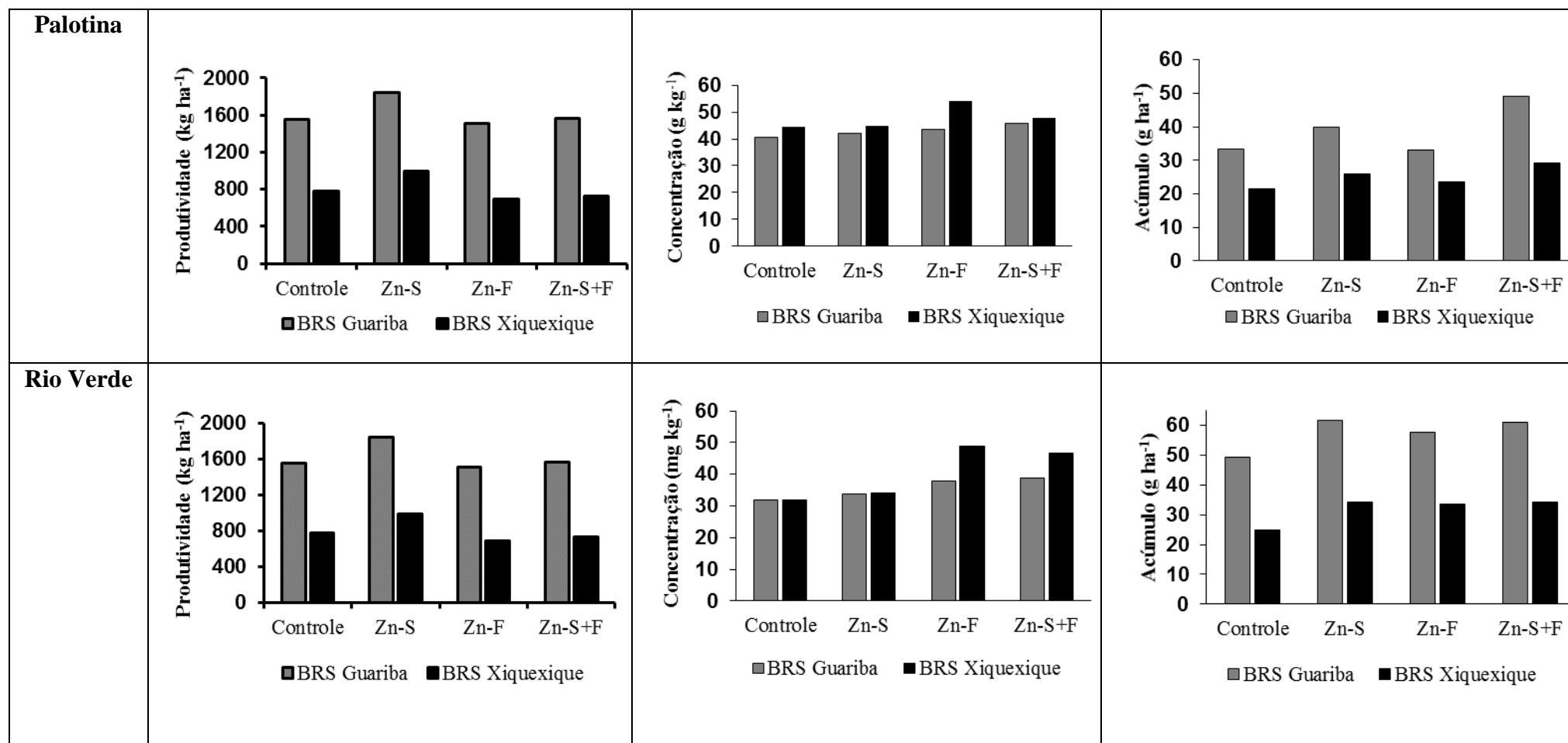
Tabela 4. Influência dos métodos de aplicação de zinco na concentração de Zn, Fe e proteína nos grãos de cultivares de feijão-caupi (média de quatro repetições). Palotina e Rio Verde, safra 2012.

Cultivar	Concentração de Zn (mg kg ⁻¹)							
	Palotina				Rio Verde			
	Controle ⁽¹⁾	Zn-S	Zn-F	Zn-S+F	Controle	Zn-S	Zn-F	Zn-S+F
BRS Guariba	40,6 b B	42,3 b B	43,4 a B	45,6 a B	32,0 b B	33,8 b B	38,0 a B	38,8 a B
BRS Xiquexique	44,6 b A	44,8 b A	54,0 a A	48,0 a A	32,0 b A	34,1 b A	48,8 a A	46,6 a A
	Concentração de Fe (mg kg ⁻¹)							
	Palotina				Rio Verde			
	Controle	Zn-S	Zn-F	Zn-S+F	Controle	Zn-S	Zn-F	Zn-S+F
BRS Guariba	63,7 a A	64,0 a A	66,2 a A	65,7 a A	63,7 b A	63,4 b A	70,5 a A	66,3 a A
BRS Xiquexique	69,2 a A	67,3 a A	64,6 a A	66,3 a A	63,7 b A	63,8 b A	67,9 a A	69,4 a A
	Proteína (%)							
	Palotina				Rio Verde			
	Controle	Zn-S	Zn-F	Zn-S+F	Controle	Zn-S	Zn-F	Zn-S+F
BRS Guariba	29,0 a A	29,5 a A	30,0 a A	29,1 a A	29,2 b A	30,3 a A	30,2 a A	31,4 a A
BRS Xiquexique	26,6 a B	28,5 a B	27,8 a B	27,7 a B	29,1 b A	31,1 a A	30,7 a A	31,2 a A
	Acúmulo (g ha ⁻¹)							
	Palotina				Rio Verde			
	Controle	Zn-S	Zn-F	Zn-S+F	Controle	Zn-S	Zn-F	Zn-S+F
BRS Guariba	33,46 b A	39,95 b A	32,95 b A	49,05 a A	49,27 a A	61,56 a A	57,70 a A	61,11 a A
BRS Xiquexique	21,38 b B	25,81 b B	23,65 b B	29,33 a B	24,80 a B	34,29 a B	33,66 a B	34,06 a B

(1) Métodos de aplicação: Zn-S (Zinco aplicado no solo); Zn-F (Zinco aplicado via foliar) e Zn-S+F (Zinco aplicado no solo e via foliar).

(2) Teste de Scott-Knott (5%), médias seguidas pela mesma letra minúscula na horizontal (estatística entre tratamentos da mesma cultivar) e maiúscula na vertical (estatística entre cultivares), não diferem estatisticamente a 5%.

. Figura 2: Influência do ambiente (Palotina e Rio Verde) e da forma de aplicação do Zn (Testemunha (Test), Zn aplicado no solo (Zn-S), Zn aplicado via foliar (Zn-F) e Zn aplicado no solo e via foliar (Zn-S+F)), no teor de Zn nos grãos e na produtividade de cultivares de feijão-caupi



Houve correlação significativa a 1% nos parâmetros Produtividade e Teor de Zn e Produtividade x Proteína, e significativa correlação a 5% nos parâmetros Teor de Zn x Teor de Fe dados referentes ao município de Palotina, para o município de Rio Verde correlação significativa a 5% para os parâmetros Produtividade X Teor de Zn, Teor de Fe x Teor de Zn e Proteína x Teor de Zn (Tabela 5). Corroborando com Martins (2007) que ao estudar a correlação de atributos físicos do solo com a produtividade encontrou correlações significativas entre produtividades e teores de Zn.

A análise de componentes principais dos dados de Palotina evidenciam que a produtividade e a concentração de proteína nos grãos apresentaram uma relação proporcional, como também observado entre a concentração de Fe e Zn Figura 3(a). No entanto, a produtividade e concentração de proteína apresentaram relação inversamente proporcional quando comparado a concentração de Zn e Fe, podendo afirmar que nas maiores produtividades e concentrações de proteína, tem-se as menores concentrações de nutrientes. (Garcia et al., 2006; Szpunar, 2005). Possível observar também, o cultivar BRS Guamirim se associou com as maiores produtividades e proteína nos grãos, quanto o BRS Xiquexique com as maiores concentrações de nutrientes, corroborando com Graham et al. (1992), que constatarem relação positiva entre o aumento de Zn e Fe nos grãos. Fato esse importante, uma vez que o cultivar BRS Xiquexique apresenta características para biofortificação, tendendo a apresentar maiores concentrações de nutrientes em partes comestíveis, como observado nesse trabalho.

Houve relação inversamente proporcional entre produtividade e concentração de Zn, Fe e proteína, evidenciada pela análise de componentes principais dos dados de Rio Verde Figura 3(b). Corroborando com McDonald et al. 2008 e Murphy et al., 2008 que mostram em seus estudos relação inversa entre produtividade e concentrações de micronutrientes nos grãos. Entretanto nota-se relação proporcional entre concentração de Zn, Fe e proteína.

Quanto aos cultivares, é notório que BRS Guamirim relaciona-se com as maiores produtividades e BRS Xiquexique com maiores concentrações de Zn, Fe e proteína. (Freire-Filho et al., 2008). Comparando análise de componentes principais entre os ambientes, nota-se comportamento similar dos cultivares em relação as variáveis respostas, caracterizando que mesmo em distintas condições de cultivo, os cultivares não alteraram seu comportamento.

Tabela 3. Influência dos métodos de aplicação de zinco na massa de 1000 grãos e produtividade de cultivares de feijão-caupi (média de quatro repetições). Palotina e Rio Verde, safra 2012.

Cultivar	Massa de 1000 grãos (g)							
	Palotina				Rio verde			
	Controle ⁽¹⁾	Zn-S	Zn-F	Zn-S+F	Controle	Zn-S	Zn-F	Zn-S+F
BRS Guariba	216,3 a A	212,8 a A	214,2 a A	205,7 a A	189,4 a A	191,0 a A	193,8 a A	187,7 a A
BRS Xiquexique	187,4 a B	189,1 a B	177,8 a B	194,9 a B	176,9 a B	173,5 a B	178,2 a B	172,3 a B
	Produtividade (kg ha ⁻¹)							
	Palotina				Rio Verde			
	Controle	Zn-S	Zn-F	Zn-S+F	Controle	Zn-S	Zn-F	Zn-S+F
BRS Guariba	1156 a A	1183 a A	1033 a A	1110 a A	1199 a A	1234 a A	1186 a A	1213 a A
BRS Xiquexique	769 a B	830 a B	715 a B	878 a A	803 a B	865 a B	792 a B	830 a B

⁽¹⁾ Métodos de aplicação: Zn-S (Zinco aplicado no solo); Zn-F (Zinco aplicado via foliar) e Zn-S+F (Zinco aplicado no solo e via foliar).

⁽²⁾ Teste de Scott-Knott (5%), médias seguidas pela mesma letra minúscula na horizontal (estatística entre tratamentos da mesma cultivar) e maiúscula na vertical (estatística entre cultivares), não diferem estatisticamente a 5%.

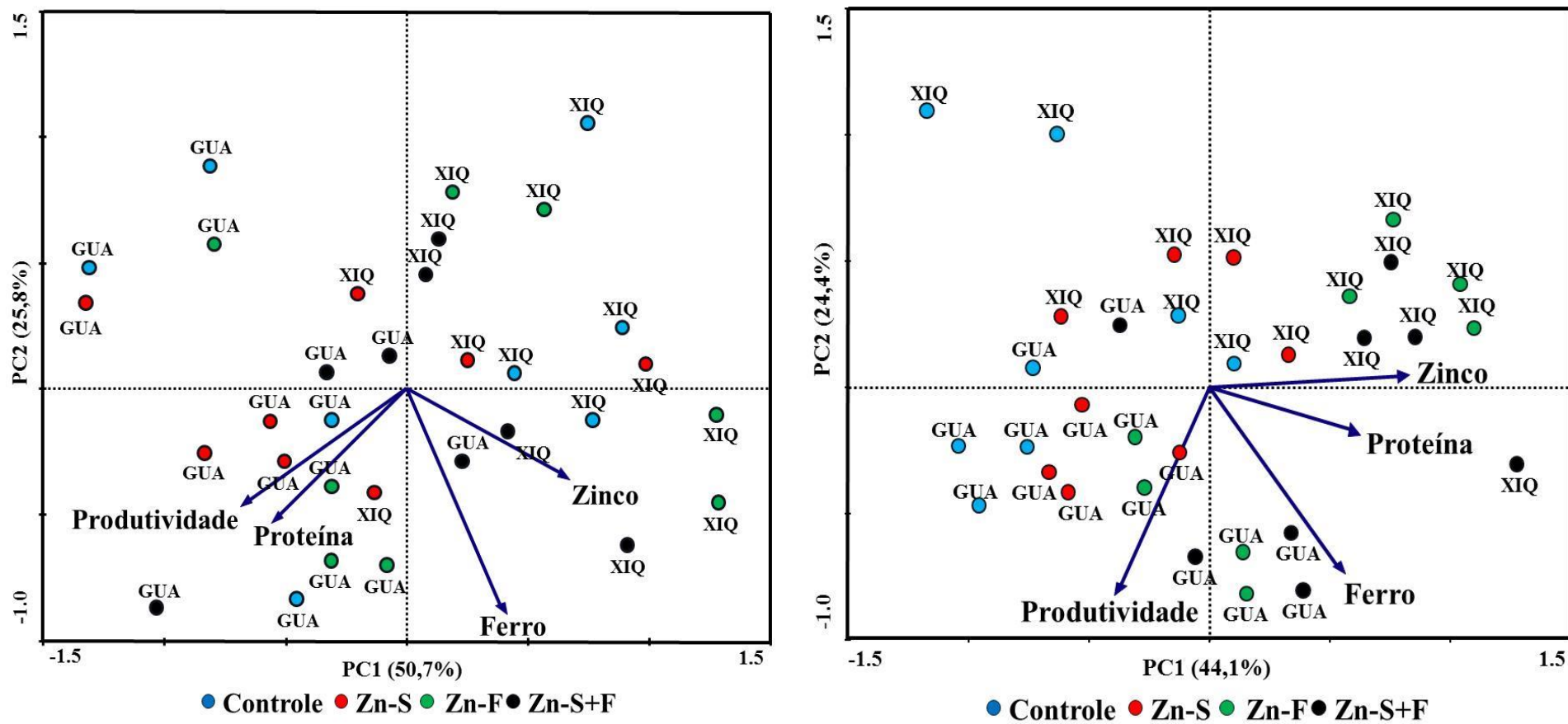


Figura 3: PCA dos cultivares de feijão-caupi: BRS Guariba (GUA) e BRS Xiquexique (XIQ), cultivados em Palotina (a) e Rio Verde (b), safra 2012.

Tabela 5. Correlação de Pearson entre produtividade, concentração de Zn, concentração de Fe e proteína de duas cultivares de feijão-caupi, cultivados em distintos ambientes.

Caráter	Palotina			
	Produtividade	Teor Zn	Teor Fe	Proteína
Produtividade	100 ⁽¹⁾			
Teor Zn	-0,54***	100		
Teor Fe	-0,09 ^{ns}	0,41**	100	
Proteína	0,54***	-0,24 ^{ns}	-0,17 ^{ns}	100

Caráter	Rio Verde			
	Produtividade	Teor Zn	Teor Fe	Proteína
Produtividade	100			
Teor Zn	-0,36**	100		
Teor Fe	-0,04 ^{ns}	0,36**	100	
Proteína	-0,10 ^{ns}	0,39**	0,15 ^{ns}	100

(1) ***, **, *, ns, significativo a correlação de Pearson a 1%, 5%, 10% e não significativo, respectivamente.

2.6. CONCLUSÕES

- 1- A aplicação de fertilizantes contendo Zn aumenta os teores deste micronutriente nos grãos de feijão-caupi, mesmo em solos com valores de Zn disponível acima do nível crítico, sendo o melhor método a conciliação da aplicação via solo com complementação foliar.
- 2- O ambiente foi importante para explicitar as características inerentes de cada genótipo de feijão, sendo que nas condições do presente trabalho se torna mais viável utilizar uma cultivar comercial com alta produção e aplicar zinco, elevando o acúmulo do mesmo nos grãos.
- 3- A cultivar comercial BRS Guariba apresentou maiores valores no acúmulo de Zn nos grãos, pelo fato de obter maior produtividade e teores de Zn satisfatórios.
- 4- O ambiente não foi fator limitante para a produtividade de ambas as cultivares.
- 5- Devido à baixa produtividade da cultivar com propensão a biofortificação BRS Xiquexique, se faz necessário nos programas de melhoramento voltados a biofortificação, a elaboração de estudos voltados ao aumento de produtividade.

2.7. LITERATURA CITADA

ANDRADE JÚNIOR, A. S.; SANTOS, A. A.; ATHAYDE SOBRINHO, C.; BASTOS, E. A.; MELO, F. B.; VIANA, F. M. P.; FREIRE FILHO, F. R.; CARNEIRO, J. S.; ROCHA, M. M.; CARDOSO, M. J.; SILVA, P. H. S.; RIBEIRO, V. Q. Cultivo de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). Teresina: Embrapa-Meio Norte, 2003. 110p.

ARAÚJO, R. de.; MIGLIORANZA, E.; MONTALVAN, R.; DESTRO, D.; GONÇALVES-VIDIGAL, M.C.; MODA-CIRINO, V. Genotype x environment interaction effects on the iron content of common bean grains. Crop Breeding and Applied **Biotechnology**, Londrina, v.3, n.4, p.269-274, 2003.

BARAMPAMA, Z; SIMARD, R.E. Nutrient composition, protein quality and antinutritional factors of some varieties of dry beans (*Phaseolus vulgaris*) grown in Burundi. Food Chemistry, Barking, v.47, n.2, p.159-167, 1993.

BEEBE, S.; GONZALEZ, A.V.; RENGIFO, J. Research on trace minerals in the common bean. Food and Nutrition Bulletin, Boston, v.21, n.4, p.387-391, 2000.

BREMNER, J.M. & EDWARDS, H.L. Determination and isotope ratio analysis of different forms of nitrogen in soils. I. Apparatus and procedures for distillation and determination for ammonium. Soil Science Society of America Proceedings, 29:504-507, 1965.

CICHY, K.A.; FORSTER, S.; GRAFTON, K.F.; HOSFIELD, G.L. Inheritance of seed zinc accumulation in navy bean. Crop Science, Madison, v.45, n.3, p.864-870, 2005.

CRUZ, J. A. A. Dietary habits and nutritional status in adolescents over Europe-Southern Europe. European Journal of Clinical Nutrition, London, v. 54, p. 29-35, 2000. Suplemento 1.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.

EMBRAPA. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 2 ed., Brasília, Embrapa Informações Tecnológicas, 2009. 627p.

FAGERIA, N. K. Níveis adequados e tóxicos de zinco na produção de arroz, feijão, milho, soja e trigo em solo de cerrado. R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, Campina Grande, 4(3): 390-395, 2000.

Garcia, J. S., Magalhães, C. S. & M. A. Z. Arruda. Trandas in metal-binding and metalloprotein analysis. Talanda, V.69, p.1-15, 2006.

GRAHAM, R. D.; ASCHER, J. S.; HYNES, S. C. Selection of zinc efficient cereal genotypes for soils of low zinc status. Plant Soil 146: 241-250, 1992.

FREIRE FILHO, F. R.; ROCHA, M. de M.; RIBEIRO, V. Q.; SITTOLIN, I. M.; CARVALHO, H. W. L. de; COSTA, A. F. de; ALCÂNTARA, J. dos P.; FERNANDES, J. B.; GONÇALVES, J. R. P.; VILARINHO, A. A.; CRAVO, M. da S.; CAVALCANTE, E. da S.; NUTTI, M. R. BRS Xiquexique: cultivar de feijão-caupi rica em ferro e zinco. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2008b. 4 p. (Embrapa Meio-Norte. Comunicado Técnico, 209).

GUZMÁN-MALDONADO, S.H.; ACOSTA-GALLEGOS, J.; PAREDES-LÓPEZ, O. Protein and mineral content of a novel collection of wild and weedy common bean (*Phaseolus vulgaris* L). Journal of the Science of Food and Agriculture, London, v.80, n.13, p.1874-1881, 2000.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e perspectivas. 2 ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fósforo, 1997. 201p.

MARTINS, M. V. Aspectos lineares e espaciais da correlação entre a produtividade de feijão (*Phaseolus vulgaris* L) com atributos físicos do solo. 2007. 28 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Agronomia) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2007.

MESQUITA, F. R.; CORRÊA, A. D.; ABREU, C. M. P.; LIMA, R. A. Z.; ABREU, A. F. B. Linhagens de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.): composição química e digestibilidade protéica. Ciência. Agrotec. Lavras, 3(4): 1114-1121, 2007.

MORAES, M. F.; NUTTI, M. R.; WATANABE, E.; CARVALHO, J. L. V. Práticas agronômicas para aumentar o fornecimento de nutrientes e vitaminas nos produtos agrícolas alimentares. In: I SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AGROPECUÁRIA SUSTENTÁVEL, Viçosa. Anais. Viçosa, Agricultura, Pecuária e Cooperativismo: 2009. 300-312p

PIMENTEL-GOMES, F. & GARCIA, C. H. Estatística aplicada a experimentos agronômicos e florestais: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos. Piracicaba, FEALQ, 2002. 309p.

PINHO, J.L.N.; TÁVORA, F.J.A.F.; GONÇALVES, J.A. Aspectos fisiológicos. In: FREIRE FILHO, F.R.; LIMA, J.A.A.; RIBEIRO, V.Q. (Ed.). Feijão-caupi: avanços tecnológicos. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. p. 191-210.

RAIJ, B.V.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H. & QUAGGIO, J. A. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. IAC, 2001. 285p

SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado**: correção do solo e adubação 2. ed. Brasília, DF:Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416 p.

SILVA, F. de. S.; AZEVEDO, C. A. V. de. Versão do programa computacional ASSISTAT para o sistema operacional Windows. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande, v.4, n.1, p.71-78, 2002.

SINGH, B.B. Cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.]. In Singh, R.J.; Jauhar, P.P. (Ed). Genetic Resources, Chromosome Engineering and Crop Improvement. Boca Raton, FL, USA: Boca CRC Press, 2005. v.1p. 117-162.

SANTOS, J. F. dos; GRANGEIRO, J.I.T.; BRITO, C.H.; SANTOS, M.C.C.A. Produção e componentes produtivos de variedades de feijão-caupi na microrregião cariri paraibano. Engenharia Ambiental, Espírito Santo do Pinhal, v. 6, n. 1, p. 214-222, jan./abr. 2009a.

SANTOS, J.F. dos; GRANGEIRO, J.I.T.; BRITO, L.M.P.; OLIVEIRA, M.M. de; OLIVEIRA M.E.C. Novas variedades de caupi para a microrregião do Brejo Paraibano. Tecnologia & Ciência Agropecuária. João Pessoa, PB, v.3, n.3, p.07-12, set. 2009b.

SANTOS, J. F. dos; GRANGEIRO, J. I. T; OLIVEIRA, M. E. C. de. Produção de feijão-macassar no Brejo Paraibano. Tecnologia & Ciência Agropecuária. João Pessoa, PB, v.5, n.2, p.17-21, jun. 2011.

SCHEEREN P. L.; CARVALHO J. L. V.; NUTTI M. R.; CAIERÃO E.; BASSOI M. C.; ALBRECHT J. C.; CASTRO R. L.; MIRANDA M. Z.; TORRES G. A. M.; TIBOLA C. S. Biofortificação em trigo no Brasil. In: Reunião Anual de Biofortificação no Brasil, Terezina-Piauí, Anais: IV Reunião Anual de Biofortificação no Brasil, 2011.

SZPUNAR, J. Advances in analytical methodology for bioinorganic speciation analysis: metallomics, metalloproteomics and heteroatom-tagged proteomics and metabolomics. The analyst, v.130, p.442-465, 2005.

TERRÉS, C. et al. Zinc levels in foods from southeastern Spain: relationship to daily dietary intake. Food Additives and Contaminants, York, v. 18, n. 8, p. 687-695, 2001.

VILARINHO, A. A.; FREIRE FILHO, F. R.; ROCHA; M. M; RIBEIRO V. Q. BRS Xiquexique: Cultivar de Feijão-caupi rica em ferro e zinco para cultivo em Roraima. Boa vista: Embrapa Roraima, 2008. (Comunicado técnico 16).

YILMAZ, A.; EKIZ, H.; TORUN, B.; GULTEKIN, I.; KARANLIK, S.; BAGCI, S. A.; CAKMAK, I. Effect of different zinc application methods on grain yield and zinc concentration in wheat grown on zinc-deficient calcareous soils in Central Anatolia. Journal of Plant Nutrition, 20 (4-5): 461-471, 1997